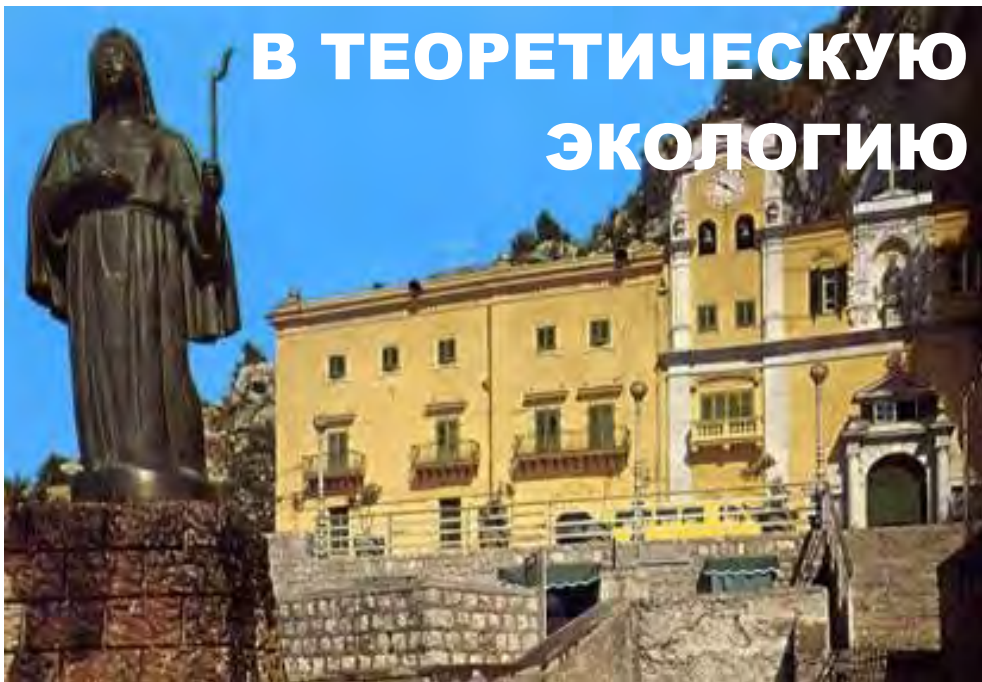


Г.С. Розенберг

**ВВЕДЕНИЕ
В ТЕОРЕТИЧЕСКУЮ
ЭКОЛОГИЮ**



Российская академия наук
Институт экологии Волжского бассейна

Г.С. Розенберг

**ВВЕДЕНИЕ
В ТЕОРЕТИЧЕСКУЮ
ЭКОЛОГИЮ**

Том 2

**Издание 2-е,
исправленное и дополненное**

**Тольятти
2013**

Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию / В 2-х т. – Тольятти: Кассандра, 2013. – Т. 2. – 445 с.

Во второй части монографии предпринята попытка построения теоретической экологии на основе системного и физического (содержательного) подходов с использованием моделей потенциальной эффективности сложных систем. Подробно обсуждаются этапы создания теории. В книге приведено почти 700 фотографий экологов, математиков и специалистов, так или иначе относящихся к обсуждаемым проблемам.

Книга предназначена для специалистов-экологов и студентов, изучающих экологию и специализирующихся в этой области.

Всего: Рис. 74. Фотогр. 987. Табл. 43. Библиогр.: 2383 назв.

Рекомендовано к печати Ученым советом Института экологии Волжского бассейна РАН (протокол № 6 от 12 мая 2011 г. и протокол № 9 от 10 сентября 2013 г.).

Ответственный редактор:

Профессор кафедры ихтиологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, доктор биологических наук, профессор, чл.-корр. РАН **Е.А. Криксунов**

Рецензенты:

Директор Центра междисциплинарных исследований по проблемам окружающей среды РАН (г. Санкт-Петербург), доктор физико-математических наук, профессор **Ю.А. Пых**

Профессор кафедры экологии Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, доктор физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор **Д.И. Иудин**

На внутренней обложке: памятник святой Розалии, покровительнице Палермо (Италия) и, с легкой руки Дж. Хатчинсона, – покровительнице экологии (на заднем плане – церковь Св. Розалии). Фото памятника и церкви – с открытки Ediz. Ar. Co. s.n.c. di C. Arnone e C. Via Aragona, 21. Palermo и с сайта <http://www.izmaylovo.ru/wiki/bio/detail.php?ID=5914>.

Издание профинансировано Программой Отделения биологических наук РАН "Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга", Программой грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (грант НШ-3018.2012.4), Российским фондом фундаментальных исследований РФФИ-Поволжье (грант 13-04-97004).

445003, Россия, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10

Институт экологии Волжского бассейна РАН

Тел., факс: (8482) 489-504; E. mail: ievbras2005@mail.ru
genarozenberg@yandex.ru

ISBN **978-5-93424-314-3**

© Г.С. Розенберг, 2013

© ИЭВБ РАН, 2013

Глава 7

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ТЕОРИЙ

*- Тогда возьми вот этот шарик -
научную модель вселенной.
Но никогда не обольщай себя надеждой,
что форма шара - истинная форма мира.*

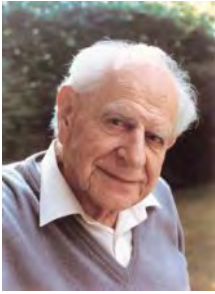

Даниил Хармс,
«- Мне все противно...»,
6 августа 1933 г.
(Хармс, 1988, с. 145).

*Все по-другому повернем:
Что было ночью, станет днем.
Твое бессмысленное чтенье
Направим сразу в колено,
И мыслей бурное теченье
Мы превратим в наук струю.*

Даниил Хармс,
«Обращение учителей...», 1934 г.
(Хармс, 1988, с. 160).

1. Основные черты теоретических исследований в биологии

Книга **К. Поппера** "Логика научного исследования" начинается с эпиграфа, в качестве которого выступают слова немецкого писателя-романтика и философа **Новалиса** [Поппер, 1983, с. 33]: «Теория – это сети: ловит только тот, кто их забрасывает».

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | <p>Поппер Карл (Sir Karl Raimund Popper; 1902-1994) – австрийский, британский философ, социолог.</p> |  | <p>Новалис (наст. имя – Фридрих фон Гарденберг; Georg Friedrich Philipp Freiherr von Hardenberg; 1772-1801) – немецкий писатель.</p> |
|---|---|---|---|

Теория в широком смысле – это комплекс взглядов, представлений, идей, направленных на истолкование и объяснение какого-либо явления. Именно такое определение понятию «теория» дается в "Большой Советской энциклопедии" [1976, т. 25, с. 434]. В более узком и специальном смысле под «теорией» понимают самую развитую форму организации научного знания (по сравнению с такими формами, как гипотеза, классификация, типология, первичные объяснительные схемы и пр.), дающую целостное представление о закономерностях определенной области действительности, которая выступает в качестве объекта данной теории. **В.И. Ленин** [1977, с. 193] подчеркивал, что «теоретическое познание должно дать объект в его необходимости, в его естественных отношениях, в его противоречивом движении *an und für sich*». **Г.Х. фон Вригт** [1986, с. 41] писал: «Построение теории служит двум главным целям. Одна состоит в предсказании событий или результатов экспериментов и, таким образом, в предвосхищении новых фактов. Другая заключается в том, чтобы объяснить или сделать понятными уже известные факты». И еще одно мнение. **Э.Н. Мирзоян** [1999, с. 9] на рубеже тысячелетий пишет: «не вызывает сомнений, что обеспечение выживания человечест-



Ленин (наст. имя Ульянов Владимир Ильич; 1870-1924) – отечественный политический и государственный деятель, философ, публицист.



Вригт Георг (Georg Henrik von Wright; 1916-2003) – финский философ.



Мирзоян Эдуард Николаевич (р. 1931) – отечественный историк биологии.

ва требует немедленного активного вмешательства в биосферные процессы, управления ими с целью избежать экологического кризиса и добиться поддержания условий окружающей человека среды на оптимальном для его здоровья уровне. Достичь этой цели можно только при условии опоры на теоретическую биологию и эволюционную биосферологию. Эта цель будет достигнута, если цивилизация, действуя как единое целое, изберет решение проблем теоретической биологии и биосферологии в качестве главного своего

приоритета в грядущем XXI в.». Сходные соображения можно найти и в других его работах [Мирзоян, 1989, 1993, 2006 и др.].

Эти определения «теории» при всей их правомочности чрезвычайно широки и наиболее существенными и конструктивными их параметрами следует признать примат объяснительной функции теории и системный характер теоретической точки зрения на исследуемые объекты. Однако такое положение оправдано и не имеет смысла пытаться дать какое-то исчерпывающее определение достаточно богатому по содержанию понятию (точное определение ограничивает рамки его применимости, а это может оказаться вредным). В этом случае можно использовать ряд фрагментарных определений [Фёдоров, 1977; Sutrop, Kull, 1985], касающихся лишь некоторых отдельных сторон того или иного понятия. Например, *теория – это логическое построение, которое позволяет описать явление существенно короче, чем это удастся при непосредственном наблюдении* [Налимов, 1979а]. Поэтому интересно рассмотреть становление «теоретической биологии» – области знания, которая окончательно еще не сформировалась, но в ряду «теория вообще» – «теоретическая экология» все же находится ближе к последней.

Не ставя перед собой задачи подробного обсуждения всех сторон и особенностей «теоретической биологии», приведу в хронологическом порядке ряд высказываний специалистов, которые отражают как трудности, так и известный прогресс в понимании этого нового для биологии и экологии подхода к изучению явлений жизни.

Ф. Энгельс, 1885 г. [Энгельс, 1961, с. 511]: «естествознание благодаря выявлению существующих в самой природе связей между различными областями исследования (механикой, физикой, химией, биологией и т. д.) превратилось из эмпирической науки в теоретическую, становясь при обобщении полученных результатов системой материалистического познания природы».



**Энгельс
Фридрих**
(Friedrich
Engels;
1820-1895) –
немецкий
философ,
общественный
деятель.

Л. фон Берталанфи [Bertalanffy, 1932, с. 7]: «теоретическая биология в первом аспекте есть теория познания и методология наук о жизни. Она устанавливает основные принципы познания в биологии и представляет собой ответвление общей логики и учения о знании. Вто-



**Берталанфи
Людвиг фон**
(Ludwig von
Bertalanffy;
1901-1972) –
австрийский
биолог-теоретик,
системолог,
философ.

рой аспект теоретической биологии есть её естественнонаучный аспект... теоретическая биология в этом смысле относится к описательной и эмпирической биологии примерно так же, как теоретическая физика относится к экспериментальной физике».

Э.С. Бауэр [1935, с. 9]: «Итак, мы приходим к выводу, что если мы живой организованной материи приписываем особые, свойственные только ей законы движения, т. е. говорим об особой науке – биологии – и в то же время хотим оставаться на почве материализма, то мы должны не только дать утвердительный ответ на наш вопрос, возможно ли найти такие общие законы, которые лежат в основе всех законов движения в отдельных, специальных областях биологии, или частным конкретным проявлениям которых служат эти специальные закономерности физиологии, механики развития, генетики и т. д., но мы также должны сказать, что найти эти законы, произвести эти обобщения и применить их результаты в качестве ведущей теории в исследовании является насущной очередной задачей теоретической биологии».



**Бауэр
Эрвин
Симонович**
(1890-1942) –
венгерский
биолог-
теоретик.

Г. Моровиц [1968, с. 35]: «по дидактическим соображениям современную теоретическую биологию можно разделить на три основные области: формальную теорию, физическую теорию и теорию систем».



**Моровиц
Гарольд**
(Harold J.
Morowitz;
г.р. 1927) –
американский
биофизик,
молекулярный
биолог.

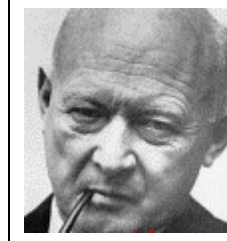
**Астауров
Борис
Львович**
(1904-1974) –
отечественный
генетик;
академик
АН СССР.



Б.Л. Астауров [1970, с. 6; 1972, с. 62, 64]: «говоря о "теоретической биологии", в это выражение начинают вкладывать примерно тот же смысл, какой вкладывают, говоря о теоретической физике, понимая под задачами теоретической биологии познание самых фундаментальных и общих, но в то же время специфических свойств и законов, присущих той качественно особой форме движения материи, которую мы именуем жизнью... Но что же такое теоретическая био-ло-гия? Мне думается, что это не что иное, как упорядочение и осмысление фактических знаний о жизни во всех её проявлениях,

позволяющее выразить наблюдаемые явления в виде возможно более общих и взаимосвязанных закономерностей или даже законов... Теоретическая биология, как я думаю, должна представлять собой неотъемлемую составную часть общей биологии, касающуюся понимания наиболее общих сторон жизни».

К. Уоддингтон [1970а,б, с. 12, 177]: «одна из наиболее характерных черт живых систем как рабочих механизмов заключается в том, что они тяготеют к локальному повышению упорядоченности, усваивая простые молекулы и создавая из них сложные соединения, имеющие упорядоченное строение... Мне не кажется *a priori* невозможным построение логической (или математической) теории, обладающей этими свойствами [*динамичностью, многомерностью, упорядоченностью*. – Г.Р.]. И, на мой взгляд, лишь такая теория заслуживала бы названия "теоретической биологии"».



**Уоддингтон
Конрад**
(Conrad Hal Waddington; 1905-1975) – британский эмбриолог, генетик.

А.А. Ляпунов [1970, с. 52]: «вся теоретическая биология должна состоять, по нашему мнению, из двух частей: физико-химической, назначение которой состоит в том, чтобы расшифровать физико-химическую природу элементарных актов жизнедеятельности на уровне макромолекул или клеточных органелл, и кибернетической, назначение которой состоит в том, чтобы понять функционирование биологических систем, отправляясь от их структуры и сведений о свойствах их элементов».



**Ляпунов
Алексей
Андреевич**
(1911-1973) – отечественный математик, кибернетик; чл.-корр. АН СССР.

М.В. Волькенштейн [1972, с. 301]: «это фундаментальное общее положение означает перекресток двух главных путей развития теоретической биологии: кибернетического и молекулярного... Все это ужасно сложно и трудно, и мы находимся лишь на начальном этапе построения теоретической биологии».



**Волькенштейн
Михаил
Владимирович**
(1912-1992) – отечественный биохимик; чл.-корр. АН СССР и РАН.

В 1972 г. в журнале "Вопросы философии" (№ 3, с. 101-116) были опубликованы результаты "Круглого стола" по проблеме "Методологические аспекты и пути формирования теоретической биологии". Ниже приводится ряд высказываний специалистов по вопросу определения «теоретической биологии» и её основных задач.

М.М. Камшилов [с. 109]: «на вопрос: что является главным объектом теоретической биологии – я ответил бы так: теория эволюции органического мира как целого, или теория эволюции биосферы».



**Камшилов
Михаил
Михайлович**
(1910-1979) –
отечественный
гидробиолог,
генетик,
эколог.

Н.П. Депенчук¹ [с. 112]: «некоторые считают, что возможно создание теоретической биологии на основе развития каждой из её отраслей и установления связей между ними... А теоретическая биология будет строиться как синтез».

А.С. Мамзин [с. 113]: «создание единой теоретической системы предполагает выделение из огромного многообразия эмпирических и теоретических знаний наиболее существенных и основных, требует повышения степени обобщения и формализации биологического знания, что открывает дорогу его математизации».



**Мамзин
Алексей
Сергеевич**
(г.р. 1928) –
отечественный
философ.

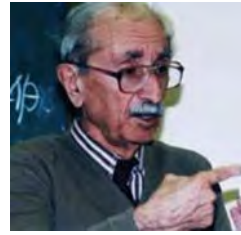
С.М. Гершензон [с. 103]: «в этом процессе теоретизации биологии главное значение будет иметь направляющее влияние математики и философии (включая логику), то есть наук, определяющих методологию построения научных теорий».



**Гершензон
Сергей
Михайлович**
(1906-1998) –
отечественный,
украинский
генетик.

¹ **Депенчук Надежда Павловна** (1920-1992) – отечественный, украинский философ.

В.А. Геодакян [с. 115]: «в современной биологии царит "культ фактов" и "чистый" теоретик выглядит белой вороной. На него смотрят в лучшем случае как на бездельника, а в худшем – как на жулика. Поэтому у нас большинство теоретических работ "внеплановые" и представляют нечто среднее между общественной работой и хобби, так как ими приходится заниматься лишь в свободное время. Отсюда и отношение к теоретической работе, как к чемодану без ручки: нести трудно, а бросить жалко».



**Геодакян
Виген
Артаваздович**
(1925-2012) –
отечественный
физико-химик,
биолог-
теоретик.

Г.А. Югай [1973, с. 179]: «одной из важнейших задач теоретической биологии является "включение" в себя частных теорий в биологии путем представления места и роли каждой из них в системе целостного абсолютного определения сущности жизни. Подобное "включение" не будет механическим суммированием, а диалектическим снятием».



**Югай
Герасим
Андреевич**
(г.р. 1931) –
отечественный
философ.

В.А. Межжерин [1974, с. 101-102]: «под теоретической биологией, очевидно, следует понимать систему основных идей, отражающих закономерности процессов, структуры, организации и уровней организации биологических систем. Таким образом, объектом теоретической биологии является биологическая система».



**Межжерин
Виталий
Алексеевич**
(г.р. 1933) –
отечественный,
украинский
зоолог,
эколог.

Б.А. Старостин [1974, с. 126-127, 130]: «в биологии системность объектов есть именно то, что обуславливает возможность их теоретического рассмотрения, и поэтому мы вполне правомерно можем отождествить теоретическую биологию со сферой системного подхода в биологии... Для теоретической ("высшей") биологии системный подход есть единственно мыслимый подход к объекту».



**Старостин
Борис
Анатольевич**
(1939-2009) –
отечественный
биолог-
эволюционист,
историк науки.

В.А. Ратнер [1980, с. 794]: «теоретической биологией следует назвать ту часть биологии, которая содержит понятия, концепции, критерии, количественные проблемы биологии, а методами которой являются доказательства, логические, математические или вычислительные методы рассуждений или счета».



Ратнер Вадим Александрович (1932-2002) – отечественный генетик, молекулярный биолог, эволюционист.

В.Г. Борзенков, А.С. Северцов [1980, с. 31]: «три основных аспекта жизнедеятельности (физико-химический, исторический и системный) столь важны и столь неотделимы от самых первых живых организмов, известных нам, что трудно представить возможность элиминации какого-либо из них в системе теоретических представлений, претендующих на полноту. Каково же отношение между ними в рамках единой системы понятий, которую бы мы могли назвать "теоретической биологией"? Это и есть центральная проблема».



Борзенков Владимир Григорьевич (г.р. 1942) – отечественный философ.

Северцов Алексей Сергеевич (г.р. 1936) – отечественный биолог-эволюционист, популяционный эколог.



А.А. Малиновский [1982, с. 6]: «теоретическая биология возникла на пути математического решения биологических задач, первоначально преимущественно отдельных и конкретных, и в виде математической теории эволюции, борьбы за существование».



Малиновский Александр Александрович (1909-1996) – отечественный биолог, системолог.

Брусиловский Павел Михайлович (г.р. 1947) – отечественный, американский системолог, математик, эколог.



П.М. Брусиловский [1985, с. 22]: «теоретическая биология формирует множество целостных характеристик и устанавливает отображение между ними и множеством биосистем».

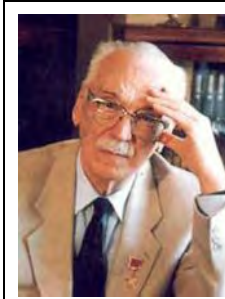
Эти двадцать цитат за столетие, естественно, не исчерпывают всего многообразия представлений о «теоретической биологии», однако они могут служить в качестве репрезентативной выборки для составления некоторой обобщенной картины. Прежде всего, необходимо отметить тенденцию к *увеличению влияния системного подхода* на процесс построения теоретической биологии и, соответственно, уменьшению физико-химической «составляющей». Говоря точнее, происходит разделение сфер преимущественного влияния того или иного подхода (см. высказывания Г. Моровица, А.А. Ляпунова, М.В. Волькенштейна, В.Г. Борзенкова и А.С. Северцова). Второй особенностью становления теоретической биологии является *направленность на математизацию биологического знания* (см. высказывания К. Уоддингтона, С.М. Гершензона, В.А. Ратнера). Однако это не просто перенесение методов математики (кибернетики, системного анализа) в сферу биологии – это перенос особого образа мышления и одна из форм воздействия естествознания на современную биологию как ее часть. Для целей построения теоретической экологии интересной следует признать точку зрения Н.П. Депенчук и Г.А. Югая о возможности *построения «частных» теорий с их последующим синтезом в общую теоретическую биологию* (здесь опять возникает вопрос о соотношении физико-химического и системного подходов для построения теории в зависимости от уровня биологической иерархии, к которому принадлежит исследуемый класс биологических систем). Наконец, важными для дальнейшего изложения являются представления В.А. Межжерина и П.М. Брусиловского, задающие *основной объект теоретической биологии (биосистему) и необходимость исследования множества целостных характеристик этих биосистем*.

Здесь следует сделать еще одно замечание. К. Поппер [1983, с. 50-51] писал: «Я уже говорил, что деятельность ученого заключается в выдвижении и проверке теорий. Начальная стадия этого процесса – акт замысла и создания теории, – по моему глубокому убеждению, не нуждается в логическом анализе, да и не подвластна ему. Вопрос о путях, по которым новая идея – будь то музыкальная тема, драматический конфликт или научная теория – приходит человеку, может представлять существенный интерес для эмпирической психологии, но он совершенно не относится к логическому анализу научного знания». Поэтому в своих дальнейших построениях я не буду касаться этой в большей степени философской области логики познания.

Учитывая экспериментальный (эмпирический) характер получаемой о биологических объектах информации, теоретическая биология должна квалифицироваться как гипотетико-дедуктивная наука [Рузавин, 1972; Мамчур, 1975]: в отличие от строго дедуктивной математики, биологическая аксиоматика носит эмпирический характер – она опирается не только на абстрактные

объекты, но и на данные экспериментов. И здесь возникает еще одна сложная проблема [Кант, 1964; Sutrop, Kull, 1985]: соотнесение гипотетического и эмпирического базисов теории, которая будет рассмотрена в дальнейшем (см. главу 9).

Проведенный анализ методологической литературы по теоретической биологии, позволил увидеть и крайние точки зрения на эту проблему (характерным примером могут служить названия статей "Теоретическая биология? Её всё ещё нет..." [Налимов, 1979а], "Теоретическая биология? Она создается сегодня" [Малиновский, 1979], "Существует ли теоретическая биология?" [Левич, Михайловский, 1979а,б], опубликованных в течение одного года научно-популярными журналами "Знание – сила" и "Химия и жизнь", и "Теоретическая биология: специальность, время которой пришло"² [Кастрикин, 1979], и спектр подходов к построению теоретической биологии [Левич, 1993а,б]), собственно, отсутствие самой «теоретической биологии», и различные рекомендации по созданию такой теории (от пожелания «Теория должна быть хорошей...» до указания создавать её по образу и подобию, например, теоретической физики), и отсутствие конструктивности в большинстве из этих рекомендаций, и... И все-таки, этот анализ позволяет набраться храбрости и предложить следующее (составленное наподобие пейзажа из басни С. Михалкова "Слон-живописец") определение.



**Михалков
Сергей
Владимирович**
(1913-2009) –
отечественный
поэт,
баснописец,
драматург,
кинорежиссер.

Теоретическая биология в естественнонаучном аспекте – раздел общей биологии, изучающий идеализированные (в известной степени абстрактные) биологические системы различных уровней биологической иерархии, связанные с ними понятия, концепции, целостные характеристики, законы. В зависимости от принадлежности биологических объектов тому или иному уровню иерархии, методами теоретической биологии выступают методы физико-химического и (или) системного подхода с математической формализацией получаемых закономерностей. Структура теоретической биологии представляется составленной из «частных» теорий по

² «Образно говоря, современная биология "беременна" профессиональной теоретической биологией. "Роды" принесут не менее, а, может быть, более важные результаты, чем рождение профессиональной теоретической физики» [Кастрикин, 1979, с. 68].

отдельным областям биологического знания, так или иначе (например, иерархически или нет) связанных в общую систему. Задачей теоретической биологии можно определить нахождение специфических законов структурно-функциональной организации биологических систем различных уровней биологической иерархии и изменения их целостных характеристик в процессе развития с целью объяснения наблюдаемых в природе феноменов.

Отдавая полный отчет в невозможности точно и однозначно определить (повторюсь) столь богатое по содержанию понятие, как «теоретическая биология (экология)», все же замечу, что необходимость получения обобщенных представлений о биологических системах разных уровней иерархии остается, учитывая, что по одному из определений, «теория – это интеллектуальное отражение реальности». Вне зависимости от того, есть у меня или нет первоначально какая-либо теория, в ходе исследования я получаю некоторые факты и продвинулся в понимании проблемы, о которой собрана информация, можно лишь с помощью тех из них, которые я в состоянии связать друг с другом посредством некоторых общих представлений (теории). Знание того, например, что растения подорожника *Plantago* чаще растут вдоль дорог и на пустырях, а венерин башмачок (*Cypripedium calceolus* L.) предпочитает лиственные и смешанные леса, лесные опушки в условиях умеренной освещенности, будет служить объяснением того, почему растения занимают разные «позиции» в природе (здесь я сознательно не использую понятие «ниша» – это уже элемент теории), лишь тогда, когда удастся как-то обосновать связь между их встречаемостью и факторами среды. В противном случае, все это может оказаться случайным совпадением, и знание данного факта никак не поможет нам разобраться и объяснить наличие у растений той или иной «позиции». *Теории помогают глубже проникнуть в смысл некоторых хорошо известных понятий; объяснять, почему факты должны быть связаны так, а не иначе, дают возможность интерпретировать эти факты в определенных рамках и устанавливать связи между ними; избегать многих ошибок в практике, они помогают непосредственно достичь отдельных результатов и, кроме того, позволяют быстрее использовать новые методические разработки для достижения цели, чем на практике применять «метод проб и ошибок»; формулировать новые гипотезы и планировать эксперименты по их подтверждению или опровержению; прогнозировать будущее развитие событий...* Иными словами, теория выступает как форма синтетического знания, образующих науку или её разделы.

В качестве примера необходимости теоретического знания приведу современную дискуссию о наличии или отсутствии в экологии некоторых общих законов. Фактически, инициатором этой дискуссии выступил **Д. Лотон** [Lawton, 1999, 2000]³, который на рубеже веков заметил, что «некоторые науки, и прежде всего физика, обладают универсальными законами, а экология должна глубоко завидовать, потому что [таких законов] у нее нет (parts of science, areas of physics for instance, have deep universal laws, and ecology is deeply envious because it does not)» [Lawton, 1999, p. 177]. Там же он отметил, что если теоретические законы и возможны для относительно простых систем (популяции или крупные биомы), то «экология сообществ – это путаница [беспорядок] с таким большим количеством всевозможных случайностей, что полезные обобщения трудно найти (community ecology is a mess, with so much contingency that useful generalizations are hard to find)» [Lawton, 1999, p. 178].



Лотон Джон
(Sir John Hartley Lawton;
г.р. 1943) –
британский
зоолог,
эколог.

Основными фундаментальными законами, определяющими существование экосистем (подчеркну, именно определяющими, но не являющимися экологическими законами), Лотон считает оба закона термодинамики, правила стехиометрии (в т. ч. *закон сохранения вещества*), естественный отбор, некоторые физические принципы, лежащие в основе процессов диффузии, механических свойств вещества и т. п. Складывается впечатление, что эти «фундаментальные законы» описывают простые свойства сложных систем (они аддитивны), что нельзя признать всеобъемлющим в данном контексте (см. главу 1, разделы 2 и 4).

Вступивший в дискуссию **П.В. Турчин** [2001; Turchin, 2003], высказал иную точку зрения. Он считает, что «широко распространенное мнение о том, что в экологии нет общих законов, ошибочно. По крайней мере, при изучении динамики популяций можно выделить несколько основополагающих положений, на которых строится подавляющее большинство моделей,

³ Замечу, что с еще большим основанием можно считать инициатором такой дискуссии **А.П. Левича** [Levich, 1988, 1993]; правда, тогда его никто не поддержал...



Левич Александр Петрович (г.р. 1945) –
отечественный биофизик, гидробиолог, эколог.

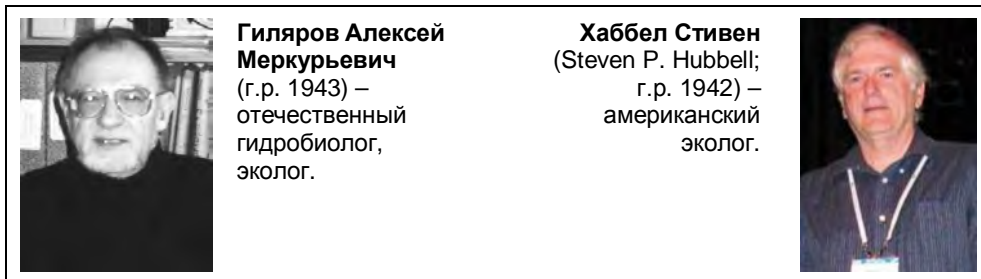
описывающих те или иные конкретные ситуации. Некоторые из этих положений по своей логической сути очень близки к полноценным физическим законам» [Турчин, 2001, с. 3]. К таковым Турчин относит, например, закон экспоненциального роста (*модель Мальтуса*; см. главу 5, раздел 2), который он считает теоремой, т. к. его можно вывести «из закона сохранения в предположении о том, что количество рождений и смертей в популяции пропорционально количеству образующих её особей» [Турчин, 2001, с. 10], и который рассматривается им (вслед за **Л. Гинзбургом** [Ginzburg, 1986]) как практически полный аналог *первого закона Ньютона* (закона инерции).

| | | | |
|---|--|---|---|
|  |  |  |  |
| Турчин Петр Валентинович (Peter V. Turchin; г.р. 1958) – отечественный, американский математик, эколог, историк. | Мальтус Томас Роберт (Thomas Robert Malthus; 1766-1834) – британский священник, демограф, экономист. | Гинзбург Лев Рувимович (Lev R. Ginzburg; г.р. 1945) – отечественный, американский математик, эколог. | Ньютон Исаак (Isaak Newton; 1643-1727) – британский физик, математик. |

Еще два общих принципа – это самоограничение роста любой популяции (Турчин считает это постулатом) и осцилляторный характер динамики системы «ресурс–потребитель» (как и первый принцип – теорема, но для описания динамики не только одной популяции, а уже «сообщества»). Логистический вид роста популяции (самоограничение роста) – не так прост, как это представляется по современным учебникам экологии; выше (см. глава 5, раздел 2) обсуждалась дискуссия об *уравнении логистического роста* и его возможностях при разного рода эволюционных интерпретациях [Ginzburg, 1992a,b, 1993; Olson et al., 1992; Turchin et al., 1993]. «Главное обстоятельство, не позволяющее считать логистическую модель общим законом, заключается в том, что она рассматривает по сути дела сугубо частный случай и предполагает ряд специальных условий, а именно линейную зависимость реальной удельной скорости популяционного роста от плотности популяции, отсутствие влияния "шума" и, что очень важно, отсутствие временных задержек... мы приходим к выводу о недостаточной универсальности логистического уравнения, а следовательно, и невозможности рассматривать его в качестве фундаментального организующего принципа популяционной динамики.

Скорее, это только простейшая из возможных моделей» [Турчин, 2001, с. 7]. И здесь очень симптоматичным выглядит признание Турчина [2001, с. 11]: «Я согласен с предположением Гинзбурга, что динамика второго порядка (т. е. динамика, определяемая запаздывающей зависимостью от плотности)⁴ широко распространена в природе и заслуживает изучения... Однако мы расходимся во мнениях относительно причин колебаний численности, реально наблюдаемых в природе. Если Гинзбург подчеркивает значимость внутривидовых механизмов, я полагаю, что в большинстве случаев (если не всегда!) возникновение колебания численности связано с трофическими взаимодействиями». Это хорошая иллюстрация *принципа множественности моделей* сложных систем (см. главу 1, раздел 5), что является непреодолимым препятствием на пути построения теоретической экологии «по образу и подобию физики». Ведь «цель теоретической физики состоит в том, чтобы создать систему понятий, основанную на возможно меньшем числе логически независимых гипотез, которая позволила бы установить причинную взаимосвязь всего комплекса физических процессов» [Эйнштейн, 1967, с. 55].

Общие принципы и законы для экологии были предложены и в ряде других работ (см., например, [Berryman, 1999; В. Murray, 2000; Hubbell, 2001]).



Еще одна работа, на которой хотелось бы заострить внимание читателя – это обзорная статья **А.М. Гилярова** [2010], в которой нет прямой дискуссии с Лотоном и Турчиным, но подробно рассматривается современная концепция *нейтрализма* **С. Хаббела** [Hubbell, 2001, 2005], которая по-новому ставит вопрос о сосуществовании конкурирующих видов и рассматривает проблему законов в экологии сообществ (именно там, где Лотон отмечает

⁴ Уравнение экспоненциального роста $dx/dt = \varepsilon x$, может быть записано следующим образом: $\varepsilon = dx/xdt = d(\ln x)/dt$. Гинзбург [Ginzburg, 1986] предложил записать закон экспоненциального роста во вторых производных x : $d^2(\ln x)/dt^2 = 0$ и использовать для описания популяционной динамики модели вида: $d^2(\ln x)/dt^2 = f(x, dx/dt)$. Сходные рассуждения находим и в еще одной более ранней статье [Черкашин, 1985, с. 36-37].

самую большую «путаницу»). Согласно традиционной точки зрения, конкурирующие виды должны занимать разные экологические ниши; концепция нейтрализма (не отсутствие экологических взаимодействий, а их «одинаковость» для всех особей сообщества) исходит из того, что «виды, входящие в одно сообщество, т. е. по крайней мере, потенциально являющиеся конкурентами, могут обитать вместе *не вопреки, а благодаря* тому, что очень схожи по своим экологическим характеристикам. Они способны сосуществовать весьма долго, если *экологически идентичны*, если в расчете на одну особь у разных видов сохранится примерно одна и та же вероятность размножиться, вымереть, заселить свободное пространство и даже эволюционировать – дать новый вид (если, конечно, речь идет о достаточных для этого промежутках времени)» ([Гиляров, 2010, с. 388]; *выделено автором. – Г.Р.*).

Нельзя сказать, что концепция нейтрализма опирается на какой-то изощренный математический аппарат: для описания соотношения численностей разных совместно обитающих видов Хаббел [Hubbell, 2001] предложил *модель полиномиального распределения с нулевой суммой* (ZSM – zero-sum multinomial distribution; под «нулевой суммой» просто понимается постоянное число особей в сообществе). Процесс замещения одних особей другими – случаен (или «нейтрален»), но в среднем ведет к вполне закономерному распределению частот встречаемости видов с разным обилием (этому теоретическому распределению хорошо соответствовали данные по распределению деревьев на о-ве Барро-Колорадо⁵ [Barro Colorado Island] на оз. Гатун [Gatun] в зоне Панамского канала).

Однако (в соответствии с системологическим *принципом множественности моделей*), у этого подхода сразу нашлись оппоненты. Так, модель ZSM стала предметом критики **Б. Макгилла** с коллегами [McGill, 2003а-с; Maurer, McGill, 2004; Gotelli, McGill, 2006; McGill et al., 2006, 2007; Magurran, McGill, 2011], которые не бездоказательно считают, что распределе-



**Макгилл
Брайан**
(Brian J.
McGill;
г.р. 1967) –
американский,
канадский
математик,
эколог.

⁵ В 1981 г. на острове Барро-Колорадо в дождевом тропическом лесу была заложена площадка площадью 50 га (500x1000 м), на которой учтено 316 видов деревьев. Раз в 5 лет на этой площадке проводятся мониторинговые обследования, в ходе которых маркируются, определяются до вида и картируются все стволы, диаметр которых превышает 1 см на высоте около 1,5 м. К настоящему моменту завершены 6 обследований (1981-1983гг, 1985, 1990, 1995, 2000 и 2005 г.). База данных представляет собой свод стволов, для каждого из которых указаны видовая принадлежность, координаты, диаметр и статус.

ние частот встречаемости видов разной численности должно описываться *логнормальным распределением*. Более того, они привлекли те же данные по распределению деревьев на о-ве Барро-Колорадо и продемонстрировали также хорошее соответствие своих теоретических построений этим экспериментальным данным.

Мне представляется (опять же в полном соответствии с *принципом множественности моделей*), что наблюдавшимся в природе явлениям можно дать и другую интерпретацию и привлечь для построения моделей и «открытия» законов иные методы (например, фрактальный анализ структуры сообществ; см. главу 5, раздел 4).

Прежде всего, резерват и биологическая станция на о-ве Барро-Колорадо хорошо известны в мире: здесь наиболее полно сохранились первичный тропический лес – гилея и его обитатели, включая крупных зверей, и с 1923 г. проводятся интенсивные зоологические (изучена биология многих зверей и птиц, например, енота-носухи [*Nasua nasua*], который стал эмблемой станции), ботанические и экологические исследования [Khusniyarova, 2009] – сегодня это единственное место в неотропической гилее, где непосредственно определены численность и биомасса наземных млекопитающих и ряда других групп животных, получены данные о размерах первичной продуктивности, исследована динамика численности многих видов за длительный период и собрано много других экологических материалов. Все это позволяет нарисовать следующую картину динамики экосистем, которая, на наш взгляд (впервые эти представления были изложены в Тольятти в докладе на Международной конференции "Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 4" [Гелашвили и др., 2008в, 2011]), делает приводимый пример артефактом.

На о-ве Барро-Колорадо рос великолепный тропический лес с богатейшей фауной. Крупные хищники были представлены ягуарами (*Panthera onca*) и пумами (*Puma concolor*). Сразу после истребления людьми этих хищников, на острове была отмечена вспышка численности их бывших жертв: енота-носухи и грызунов агути (*Dasyprocta*) и пака (*Caelogenys*), питающихся крупными семенами. Размножившись, именно они быстро свели на нет популяции тех деревьев тропического леса, которые дают такие семена. Весь облик леса стал необратимо меняться: те деревья, которые были наиболее многочисленны и давали пищу и кров тысячам видов мелких животных, постепенно становились все более редкими, а вместе с ними сокращались (или полностью исчезли) и популяции всех консортивно связанных с ними животных. *Вместо исчезающих деревьев с крупными семенами размножились другие виды, дающие мелкие семена*. Они встречались на острове и прежде, но были немногочисленны. Расплодились животные, питающиеся такими семенами (мыши и крысы), резко выросла численность мелкого хищника из се-

мейства кошачьих – оцелота (*Leopardus pardalis*), охотника на крыс и мышей. Таким образом, исчезновение всего-навсего двух видов животных привело к полному преобращению (и обеднению) животного и растительного мира острова [Khusniyarova, 2009]; иными словами, эта картина получена *без представлений о прямой конкуренции деревьев за те или иные ресурсы или представлений о нейтралистской организации сообщества*. Поэтому вывод Макгилла с соавторами [McGill et al., 2007, p. 1001] о том, что долговременные усилия экологов по выяснению причин наблюдаемых законов и закономерностей обернулись «коллективной научной неудачей (collective scientific failure)», представляется поспешным. Следовало бы сказать, что путь построения экологической теории не такой простой и прямой, каким он представляется сегодня большинству экологов; в силу сложной природы экосистем («мы ещё слишком мало знаем о том, как формируется видовое разнообразие в пределах определенного таксона, вне зависимости от тех сообществ, в которых потом могут оказаться те или иные виды... Мы также очень мало знаем о переходе от регионального разнообразия к локальному» [Гиляров, 2010, с. 394]), этот путь будет также сложным и нелинейным.

В структуре любой теории можно выделить *основные элементы*, соответствующие элементам «частных» теорий [The Structure of Scientific..., 1974; The Philosophy of Ecology..., 2000]. Одним из таких элементов является научно-методический аппарат данной теории (в наиболее развитых теориях он позволяет охватить все основные этапы познания конкретной предметной области). Однако любой научно-методический аппарат теории содержит, как минимум, три основных этапа описания изучаемых объектов и явлений (см. также "Введение")⁶:

- *содержательное описание (описательный этап)* – это описание на естественном (профессиональном или литературном) языке;
- *формальное описание (концептуально-теоретический этап)* – описание в специфических терминах и символических обозначениях той или иной теории;

⁶ **Ю.В. Чайковский** [1996] формулирует 6 познавательных установок-моделей (в чем-то близких к понятию «парадигма»), к которым сводится процесс объяснения всех основных фактов и понятий конкретной области знания (этико-эстетическая [религиозная], схоластическая, механическая, статистическая, системная, диатропическая [разнообразие], пропенсивная [предрасположенность]).



Чайковский Юрий Викторович (г.р. 1940) – отечественный философ, эволюционист, историк науки.

- *формализованное описание (этап математизации; процесс формализации)* – содержательное описание с элементами формального описания.

Процесс перехода от содержательного к формализованному и формальному описанию развивается от использования первичных идеализаций через выдвижение теоретических концепций к построению на основе располагаемого научно-методического аппарата (или вновь создаваемого) более или менее общей теоретической модели исследуемых явлений (процессов).

Рассмотрим некоторые конкретные способы построения теории в экологии и особенности их научно-методических аппаратов [Розенберг, 1991б, 2003а, 2005а].

2. Аксиоматический подход

Любая теория развивается из потребностей практики (понимаемой, естественно, в широком, а не утилитарном смысле). Это относится не только к общей биологии (и, в частности, экологии), но и к традиционно «строгой» и абстрактной математике. На примере становления ряда математических дисциплин проследим особенности аксиоматического подхода к построению теории [Розенберг, 2005а].

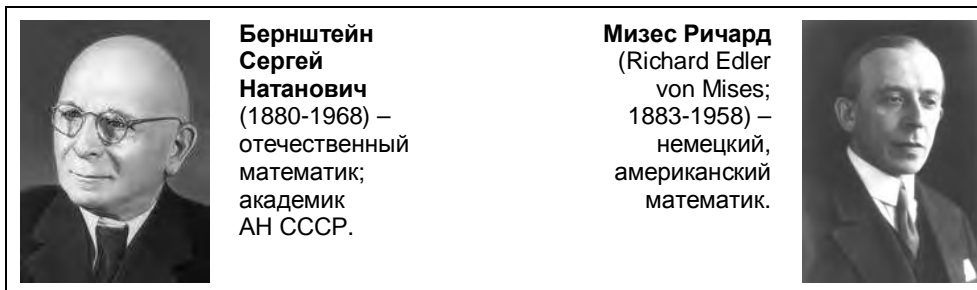
Математические дисциплины в начале своего пути шли от конкретных, практических задач: арифметика – от хозяйственных и коммерческих расчетов, геометрия – от задач землемерения, теория вероятностей – от азартных игр. Так, до конца XIX века теория вероятностей представляла собой еще не сложившуюся математическую дисциплину с недостаточно четко сформулированными фундаментальными понятиями (то, чем сейчас является экология). Эта «не строгость» вероятностной науки вызывала многочисленные дискуссии и нередко приводила к парадоксальным выводам [Гнеденко, 1981]. Роль теории вероятностей и интерес к ней стали возрастать в начале XX столетия, когда успехи современного естествознания (физики, биологии и др.) привели к необходимости признать важность и фундаментальность этой области знания и, в свою очередь, заставили искать формально-логическое обоснование теории вероятностей, осуществлять её аксиоматическое построение.

В современной математике *аксиомами принято называть утверждения (или определения фундаментальных понятий), которые принимаются за истинные и в пределах данной теории не доказываются*. Все остальные положения теории должны выводиться чисто логическим путем из этих аксиом. Аксиомы не берутся «с потолка», они формулируются в результате длительного накопления фактов, их анализа и отбора основных из них. В.И. Ленин [1977, с. 172] подчеркивал, что «практическая деятельность человека милли-

арды раз должна была приводить сознание человека к повторению разных логических фигур, дабы эти фигуры могли получить значение аксиом». Именно так обстояло дело с аксиомами элементарной геометрии, впервые изложенными в "Началах" **Евклида** около 300 г. до н.э., и с аксиомами теории вероятностей, которые **А.Н. Колмогоров** сформулировал в 1936 г.

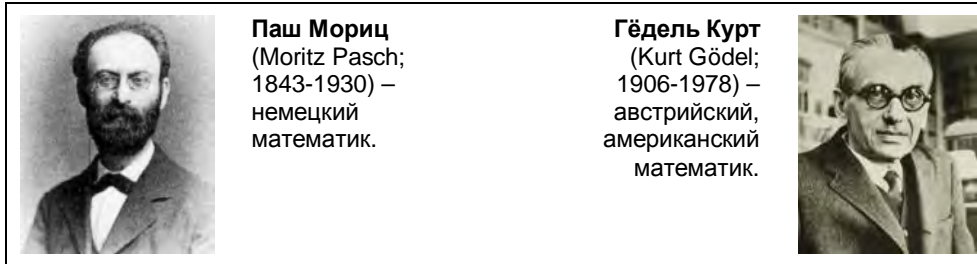


Замечу, что как в геометрии (назову общеизвестные работы **Н.И. Лобачевского**, **Б. Римана**), так и в теории вероятностей, это были далеко не единственные аксиоматические теории (в частности, впервые задача аксиоматического построения теории вероятностей была решена **С.Н. Бернштейном** в 1917 г., а несколько позже **Р. Мизесом** была предложена другая система аксиом). Все это свидетельствует и о том, что аксиомы не есть нечто неизменное в данной науке, и о сугубо дедуктивном характере создаваемых на их основе теорий. Естественно, что дедуктивный подход в значительной степени ограничивает произвол при принятии научных сужде-



ний в качестве некоторых истин данной теории. С другой стороны, такой подход подразумевает хорошую и полную изученность законов взаимодействия элементов системы, что бывает трудно достичь для сложных (в системологическом смысле) объектов. Таким образом, *аксиоматический подход в его «чистом» виде служит лишь для оформления уже готовых теорий.*

Самым удивительным в аксиоматическом подходе является тот факт, что при всей его строгости и, казалось бы, однозначности он оставляет широкое поле деятельности для совершенствования теории. Это связано с двумя его особенностями. Во-первых, аксиоматическая теория, как правило, содержит основные принципы двух родов – в виде аксиом и интуитивных представлений (можно говорить о «евклидовой интуиции», которая делает элементарную геометрию вполне определенной, хотя в аксиомах Евклида заложены далеко не все предпосылки строго формальных геометрических рассуждений; фактически, в этом проявляются *синтаксический* и *семантический* подходы к построению теории, как лингвистического объекта; см., например, [Левич, 1983; Thompson, 1989; Matthen, 1991; Collier, 1992])⁷.



В процессе развития аксиоматической теории происходит «перевод» интуитивных представлений в аксиоматические. Например, различные свойства понятия «точка А лежит на прямой между В и С» используются у Евклида без всякого обоснования и только в XIX в. **М. Паш** ввел «аксиомы порядка», формализующие это понятие [Есенин-Вольпин, 1959; Подниекс, 1981]. Аналогичный процесс происходил и в ходе становления теории вероятности, когда с развитием представлений о стохастичности окружающего нас мира наряду с понятием «вероятности случайного события» потребовалось аксиоматическое введение понятий «случайной величины», «функции распределения», «случайного процесса» и пр. При этом в рамках аксиомати-

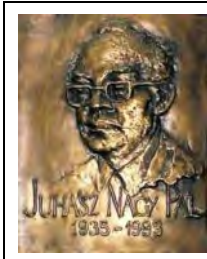
⁷ Отмечу, что несколько ранее **П. Томпсона** [Thompson, 1989] семантический подход к построению теории информации предложил **Ю.А. Шрейдер** [1965], что позволило ему количественно оценивать образное (смысловое) значение знаков, используя понятие тезауруса как некоторого запаса знаний, фиксируемых в виде слов и смысловых связей между ними.



- 1. Томпсон Пол** (Ronald Paul Thompson; г.р. 1947) – канадский генетик, эколог.
- 2. Шрейдер Юлий Александрович** (1927-1998) – отечественный математик, кибернетик, философ.

ческого подхода возможно построение сугубо формальной теории без интуитивных представлений, что позволяет проанализировать саму систему основных принципов теории. И здесь возникает вторая особенность: в соответствии с теоремой о неполноте **К. Гёделя**, которая впервые была доложена 23 октября 1930 г. на заседании одной из секций Венской академии наук, всякая фундаментальная теория либо противоречива, либо недостаточна для решения всех возникающих в ней проблем. Таким образом, несовершенство любой аксиоматической теории должно устраняться путем уточнения её аксиом или ввода новых – этот процесс безграничен и в этом состоит диалектизм построений Гёделя [Подниекс, 1981].

Еще одной отличительной чертой аксиоматического подхода к построению теории⁸ является то, что сфера его применения ограничивается теми науками, в которых понятия имеют определенную стабильность, а эффективность проявляется лишь тогда, когда анализируются взаимоотношения между этими понятиями [Есенин-Вольпин, 1959]. В других ситуациях значительно большее значение имеют эксперименты и наблюдения, а на долю логических рассуждений уже приходится второстепенная роль. Именно с этим связаны успехи аксиоматического подхода в математике (элементарная геометрия, теория вероятностей, теория множеств и пр.) и теоретической физике (механика, термодинамика и пр.) и относительные неудачи в других областях знания (в биологических науках автору известно лишь несколько попыток аксиоматизации). Первой, по-видимому, была работа [Woodger, 1937], в которой в качестве аксиом рассматривалось большое число общебиологических



Юхач-Наги Пал
(Pal Juhász-Nagy;
1935-1993) –
венгерский
геоботаник,
эколог.

представлений и демонстрировалось их соответствие различным вербальным биологическим теориям, далее была предложена аксиоматическая теория эволюционной морфологии [Петров, 1959], венгерский геоботаник **П. Юхач-Наги** [Juhász-Nagy, 1966a,b, 1968] предложил аксиоматическую теорию фито-

⁸ Подчеркну, что здесь речь идет именно об аксиоматическом подходе к построению теории. Например, в работах **Н.Ф. Реймерса** [1983,1984] впервые были собраны воедино 12 фундаментальных «законов–теорем» экологии, но они не объединены общим аксиоматическим подходом; то же можно сказать и про его более позднюю работу [Реймерс, 1994].

Реймерс Николай Федорович (1933-1993) –
отечественный зоолог, эколог.



ценологии и, наконец, в работе [Медников, 1982] находим четыре аксиомы для объяснения всех феноменов живой природы.

Итак, аксиоматический метод состоит в том, что в его базис кладутся основные понятия, некоторые положения (аксиомы) и задаются правила логического вывода из них всех остальных положений в данной области знания (теоремы). Чрезвычайно важным является выбор самых элементарных из основных положений (так, в теории вероятностей по А.Н. Колмогорову первичным является не просто понятие «события», а понятие «элементарного события»). Следовательно, этапами при построении аксиоматической теории в экологии должны быть *выбор элементарных понятий* (экосистема? ценовая ячейка? синузия?), *формулировка аксиом* и *задание определенных правил умозаключений* по отношению к аксиомам и выведенным из них положениям. Легко заметить, что на сегодняшнем уровне развития экологической науки уже первый этап («жесткая» фиксация содержания понятий) оказывается чрезвычайно сложным в силу недостаточной разработанности и формализации понятийного аппарата экологии, т. е., приходится с сожалением констатировать, что построение аксиоматической теории в экологии пока неосуществимо.

3. Содержательный (физический) подход

Успехи физики XX века обусловили не только проникновение в биологию физико-химических методов исследования объектов различных уровней биологической иерархии, но и определенное «навязывание» физического «образа мышления» при постановке и решении различных биологических задач. Естественно, что этот процесс оказал существенное влияние и на теоретическую биологию, которую со времени выхода в свет в 1943 г. работы **Э. Шрёдингера** [1972] "Что такое жизнь с точки зрения физика?" до признания в начале 70-х годов равноправным системного подхода, пытались строить по образу и подобию теоретической физики. Многочисленные исследования в этом направлении наложили серьезный отпечаток на современную биологию, что заставляет рассмотреть «физический подход» к построению теории более внимательно.



Шрёдингер Эрвин (Erwin Schrödinger; 1887-1961) – австрийский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1933 г.); почётный член АН СССР.

В "Большой Советской энциклопедии" (см., например, 3-е изд.) понятие «закон» определяется следующим образом – *это необходимое, существенное, устойчивое и повторяющееся отношение между явлениями.*

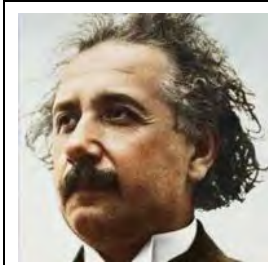
В основе изучения физических закономерностей объектов реального мира лежит, так называемый, *научный метод* – наблюдение, размышление и опыт, создателем которого считается



Галилей
(Galileo Galilei;
1564-1642) –
итальянский
физик,
механик,
астроном.

Г. Галилей. Основным отличием этого подхода от других методов (например, обращения к «авторитету» или аксиоматического подхода) является непосредственная связь с опытом и наличие эмпирических компонент (связанных с фактологией, экспериментом) в фундаменте теории. *Физические понятия наделены физическим смыслом*, это не просто абстрактные символы и математические величины. В отличие от математических (аксиоматических) теорий, физические именно в опыте черпают свое содержание и сверяют с ним свои выводы.

Вторая особенность физического подхода – анализ простых свойств исследуемых систем (я уже цитировал **А. Эйнштейна** [1965, с. 9] – «высшая аккуратность, ясность и уверенность – за счет полноты» – см. главу 1, раздел 7). С категорией «закона» связано представление о его большей или меньшей всеобщности для целого класса систем. Простые свойства (как простых, так и сложных систем) имеют практически независимые качества.



Эйнштейн Альберт
(Albert Einstein,
1879-1955) –
немецкий физик-
теоретик, лауреат
Нобелевской
премии (1921 г.);
почётный член
АН СССР.

Это привело к тому, что простые портретные модели этих отдельных простых свойств оказались настолько им адекватны, что позволили рассматривать их в рамках физического подхода как простые законы природы [Флейшман, 1982, с. 20].

Наконец, еще одной отличительной чертой физического подхода стала «математизация» физики. Этот процесс оказался, в известной степени, взаимным: для решения ряда физических задач существующей математики оказалось недостаточно и это индуцировало её дальнейший прогресс (так, И. Ньютон создал дифференциальное и интегральное исчисления для вывода законов классической механики, **Ж. Фурье**, исследуя процесс остывания



Фурье Жозеф
(Jean-Baptiste-
Joseph Fourier;
1768-1830) –
французский
математик.

для решения ряда физических задач существующей математики оказалось недостаточно и это индуцировало её дальнейший прогресс (так, И. Ньютон создал дифференциальное и интегральное исчисления для вывода законов классической механики, **Ж. Фурье**, исследуя процесс остывания

Земли, заложил основы теории представления периодической функции в виде ряда и пр.). При этом необходимо подчеркнуть часто возникающие несоответствие между глубиной физической теории и степенью сложности ее математического описания. Так, математический аппарат специальной теории относительности предельно прост, тогда как физические идеи и представления этой теории весьма глубоки и сложны – простой аппарат способствует объяснению сложных физических феноменов. С другой стороны, решение некоторой конкретной технической задачи, которая сама по себе мало что вносит в физическую картину мира, зачастую оказывается математически очень сложным; в этой ситуации, фактически, выполняется прогностическая функция теории. По Б.С. Флейшману [1982, с. 22] «грубая модель более сложной системы может оказаться проще более точной модели более простой системы. Это вселяет оптимизм при исследовании сложных систем». Иными словами, как в физике, так и в системологии для создания объяснительных теорий возможно построение достаточно простых моделей.

И.А. Акчурин [1967] выделяет три этапа воздействия математики на другие науки: *статистическая обработка* эмпирических данных (для сравнения укажем, что в фитоценологии этот этап, в основном, был завершен в 60-70-х годах нашего столетия [Грейг-Смит, 1967; Василевич, 1969; Orłóci, 1975; Миркин, Розенберг, 1978, 1979; Kershaw, Looney, 1985 и др.; см. также обзоры: Василевич, 1972; Розенберг, 2007a; Zuur et al., 2009a], в почвоведении – чуть позже [Дмитриев, 1972; Благовещенский и др., 1984, 1987], а в гидроэкологии – в наше время [Алимов, 2000; Шитиков и др., 2003, 2005]), *модельный этап* (в современной физике – различные модельные построения физики элементарных частиц; в экологии этот этап продолжает развиваться [Pielou, 1969, 1977; Maynard Smith, 1974; Свирежев, Логофет, 1978; Пых, 1983; Розенберг, 1984; Базыкин, 1985; Свирежев, 1987; Заславский, Полуэктов, 1988; Jørgensen, 2000; Исаев и др., 2001; Turchin, 2003; Ginzburg, Colyvan, 2004; Gillman, 2009; Schneider, 2009 и мн. др.]) и собственно «*полное*» построение математической теории изучаемого класса объектов (образцами таких теорий в физике являются классическая и квантовая механики и ряд других теорий; в экологии такая теория отсутствует). Естественно, что подобное подразделение несколько условно: эмпирические факты присутствуют и в «полной» теории, которая в свою очередь индуцирует необходимость проведения новых наблюдений и получения новых экспериментальных данных. Наиболее подробно становление математической биологии и возни-



**Акчурин
Игорь
Алексеевич**
(1930-2005) –
отечественный
философ.

кающие при этом задачи рассмотрены в брошюре [Брусиловский, 1985], а различие физикализма и системологии как методологий построения теоретической экологии – в книге [Розенберг и др., 2002, с. 38-51; см. также главу 1].

Для содержательного (физического) подхода в экологии ключевыми понятиями являются «популяция», «ресурс», «конкуренция за ресурсы между

видами». Они имеют множество, часто не синонимичных, определений. В основе этого подхода лежат уравнения *Лотки–Вольтерра* и принцип конкурентного исключения Гаузе (в наиболее общей форме – на n различных ресурсах может устойчиво сосуществовать не более n различных видов, в противном случае возникает конкуренция за ресурсы, которая, путем конкурентного исключения, приводит к стабильному состоянию). Уравнения Лотки–Вольтерра представляют собой систему двух дифференциальных уравнений, описывающих



Лотка Альфред
(Alfred James Lotka;
1880-1949) –
американский
биофизик,
эколог.



Вольтерра Вито
(Vito Volterra;
1860-1940) –
итальянский
математик;
почетный
академик
АН СССР.

динамику численности взаимодействующих популяций. Модифицируя их различным образом, можно описать динамику, как изолированной популяции, так и любых (классических) взаимодействий между популяциями разных видов [Базыкин, 1985; Розенберг, 2000а]. Исходно, это детерминистические модели, хотя их и можно превратить в стохастические без изменения сути.

Постулируется, что в «реальном мире» виды организмов образуют сообщества (биоценозы), которые вместе со своей абиотической средой образуют биогеоценозы или (в более общем случае) экосистемы, рассматриваемые в рамках системного подхода. Сообщества характеризуются внутренней структурой, которая есть следствие межвидовых взаимодействий. Взаимодействия классифицируются по их эффекту для видов-участников (т. е. по тому, повышается или понижается плотность популяции взаимодействующего вида вследствие взаимодействия): **+/+**, **+/0**, **+/-** и т. д. Причем, в рамках классической экологии реально рассматриваются лишь два основных взаимодействия – конкуренция (**-/-**), действующая между видами одного трофического уровня и создающая «горизонтальную» структуру сообществ, и хищничество (**+/-**) между видами разных трофических уровней, создающее «вертикальную» структуру.

Соответственно, для описания роли вида в «горизонтально» организованном сообществе служит концепция экологической ниши и нишевой структуры, а для описания «вертикальной» организации – представления о пищевых сетях (цепях). Как ниша (и её свойства), так и пищевая сеть могут быть описаны моделями Лотки–Вольтерра. При этом, по самому определению «экологической ниши» как гиперобъема в многомерном пространстве факторов и ресурсов, реальные виды заменяются на некоторые абстрактные «сущности» и «реальное» пространство – на некое n -мерное гиперпространство, в котором эти «сущности живут» уже как бы сами по себе. В конечном счете, из уравнений Лотки–Вольтерра возникают и представления о жизненной (эколого-ценотической) стратегии вида (концепция устойчивости популяций) – все виды делятся на несколько групп по типу динамики популяции и использования ресурсов (среды; см., например, [Миркин, Наумова, 1998]). Эти представления – пожалуй, самое последнее (по времени) приобретение содержательного подхода в экологии.

В соответствии с физическим подходом в экологии, сообщества стремятся к стабильности или хотя бы стационарности (знакомый штамп «экологическое равновесие» – как раз отсюда). В тех случаях, когда внешнее воздействие выводит их из этого состояния (включая полное уничтожение), происходит процесс сукцессии – формирования нового сообщества, часто через ряд весьма отличных от конечной переходных стадий. Один полюс – положение, что при неизменных условиях среды сукцессия протекает одинаково сколько угодно раз, она полностью детерминированный, закономерный процесс, строго определенным образом гетерогенный во времени. Другой полюс – временной континуум случайно сменяющих друг друга видов. Как и в случае пространственного распределения, физическому подходу в экологии ближе (и исторически старше в качестве парадигмы) первый взгляд. Стохастические представления уже не вполне отвечают ему и не имеют особенно значительного распространения.

Таким образом, для «научного метода физикализма» характерно сведение изучаемого целого к изучению его отдельных частей, отсутствие категории цели в объяснении явлений физического мира и синтез гипотезы с экспериментом (см. таблицу познавательных установок в разделе 7 главы 1). Эти «три кита» позволяют с единой точки зрения рассмотреть структуру физических теорий и увидеть во многом сходный их «костяк». В наиболее полном варианте такой анализ проведен в работах [И. Кузнецов, 1963, 1967], а также применительно к задачам инженерии [Виттих, 1995, 1998, Vittikh, 1997] и путем построения теоретической биологии [Meуen, 1988].

Интересен «инженерный подход» к синтезу теории, который успешно разрабатывает **В.А. Виттих** [Vittikh, 1997; Виттих, 2001, 2005, 2009а,б; Виттих, Скобелев, 2003, 2009; Виттих и др., 2009] и который основан на том, что



**Виттих
Владимир
Андреевич**
(г.р. 1940) –
отечественный
математик,
специалист в
области
управления
сложными
системами

«наиболее развитой формой представления знаний является теория – логически целостная концептуальная система, характеризующаяся относительной замкнутостью, полнотой и непротиворечивостью» [Виттих, 1995, с. 3]. При этом, в отличие от естественных наук, организуя знания в теорию по «предметному принципу», предлагаемый «инженерный

подход» (как, впрочем, и системный подход в целом) создает междисциплинарные комплексы, группируя знания в соответствии с теми или иными решаемыми задачами.

Классическая эпистемология изучает устройство естественнонаучного знания; однако рассматривая системообразующие факторы, благодаря которым и сложный объект (в нашем случае – экосистема), и наши знания о нем объединяются в своеобразный целостный «организм» (со своей структурой, динамикой, устойчивостью и пр.), Виттих приходит к выводу о том, что для изучения и создания теории такого «организма» следует создавать специальную «инженерную (системную?)» эпистемологию. Кроме такого рода философских рассуждений, он разработал и предлагает методологию построения таких теорий с применением средств компьютерного представления и обработки знаний [Виттих, 1998, 2001].



**Кузнецов
Иван
Васильевич**
(1911-1970) –
отечественный
философ.

В структуре физической теории **И.В. Кузнецов** [1967] выделяет три главные части: «основание» теории, ее «ядро» и «вершину». Каждая из этих частей охватывает определенную группу элементов (естественно, что выделение этих элементов, в известной мере, нечетко, однако каждый из них выполняет свою специфическую роль в общей структуре теории).

«**Основание**» теории включает пять элементов. В соответствии с главными принципами физикализма теория основывается на анализе экспериментальных данных и поэтому, естественно, первым элементом ее структуры является *первоначальный эмпирический базис*. К нему относятся наблюдаемые факты, которые не только требуют создания теории для их объ-

яснения, но и создают реальную возможность ее построения. Примером первоначального эмпирического базиса могут служить опыты Галилея по свободному падению предметов разного веса – «краеугольный камень» классической механики.

Следующим элементом «основания» теории называют *идеализированный объект* [Розенберг, 2002a], наделенный небольшим числом весьма общих свойств, простой структурой и «функционирующий» в специфическом идеализированном пространстве. В классической механике таким объектом является материальная точка, а «пространством» состояний её движения – шестимерное фазовое пространство, представляющее собой «произведение» трехмерного евклидова пространства координат точки на трехмерное пространство ее скоростей [Акчурин, 1967]. Интересно, что в физике почти полностью отождествляются теоретический и математический объекты (например, волновая функция и её математические свойства [Чебанов, 1983]). Выбор идеализированного объекта – труднейшая теоретическая проблема, имеющая решающее значение для построения физической теории (вспомним четырехмерное «пространство – время» для специальной теории относительности).

Выбор идеализированного объекта индуцирует введение целой *системы фундаментальных понятий (физических величин)*, специфических для каждой теории. В классической механике такими величинами являются сила, вес, масса, тяготение, скорость движения и др. Каждая физическая величина характеризует какое-либо свойство идеализированного объекта. Вся совокупность физических величин теории подразделяется на два класса – «наблюдаемые» (например, вес объекта) и «ненаблюдаемые», которые не могут быть непосредственно измерены на опыте (например, ускорение движения). Это разделение физических величин приводит к еще двум элементам «основания» теории: *процедурам измерения* [Розенберг, 1995] и *правилам действия над физическими величинами*. Оба эти элемента задают процедуры или правила соотнесения физических величин с тем или иным и численным значением. Отметим, что правила действия над физическими величинами (иными словами, математизация физики) опираются на тот или иной математический аппарат (классическая механика потребовала введения дифференциального и интегрального исчисления), что должно рассматриваться как своеобразный «язык» теории [Межжерин, 1974; Чебанов, 1983].

Главнейшим структурным элементом «ядра» *физических теорий* является *система законов* – уравнений, задающих связь и характер изменения физических величин в пространстве и во времени. Каждая физическая теория опирается на характерную именно для нее систему уравнений: классическая механика – на законы Ньютона, электродинамика – на уравнения Максвелла,

теория относительности – на уравнения Эйнштейна. Логическая завершенность системы законов свидетельствует о высокой степени разработанности теории (о широком охвате наиболее существенных сторон определенного специфического фрагмента действительности). По-видимому, именно это имеет в виду **Ю.А. Пых** [2009, с. 105], когда говорит о том, что «одна из важнейших целей математической экологии в ближайшие годы – установить связь между экологическими правилами и экологическими законами, т. е. сконструировать теоретический "скелет" в экологии».

В качестве особых элементов «ядра» теорий в физике И.В. Кузнецов [1967] выделяет *законы сохранения, принципы симметрии и законы связи новых и старых теорий*.



Пых Юрий Александрович
(г.р. 1944) –
отечественный
математик,
биофизик,
эколог.

Кроме того, особо подчеркивается наличие *мировых постоянных* (характеристических параметров), считающихся центральными пунктами физических теорий. К ним относятся скорость света, постоянная Планка, электрический заряд электрона и др. Так, введение скорости света в уравнения движения

ознаменовало переход от классической механики Ньютона к теории относительности Эйнштейна.

«**Вершина**» теории состоит из двух основных структурных элементов – *объяснения совокупности известных эмпирических фактов* и *предсказания новых явлений*. Именно через последний элемент и происходит «замыкание» структуры теории – предсказанные явления изучаются и поставляют новую эмпирическую информацию, которая обрабатывается с позиций теории и включается в ее эмпирический базис, создавая расширенный эмпирический базис. Подтвержденные предсказания служат упрочению «основания» теории, а новые факты, которые не укладываются в ее рамки, могут стать первичным эмпирическим базисом новой, более совершенной теории.

Наконец, последним элементом структуры физических теорий, находящимся несколько «в стороне» от целостного здания теории, [Кузнецов, 1967] является *общая интерпретация основного содержания теории*, дающая философское истолкование основных понятий и законов теории, её исходных идей и достигнутых результатов и пытающуюся осмыслить и наметить границы применимости. Этот элемент не оказывает влияния на саму теорию, но имеет большое значение для уяснения её сущности, характера связи с другими теориями и объективной реальностью.

Подводя итог рассмотрения физического подхода к построению теории, выделю наиболее важные моменты, которые следует использовать при

построении теории в экологии. Прежде всего, отмечу, что для экосистем, как объектов сложной природы, нельзя использовать «научный метод физикализма», но можно взять за основу структуру физических теорий, «нагружая», естественно, каждый элемент новым содержанием. Главным образом это будет касаться «ядра» теории (системы законов) и её «языка» (математического описания этих законов).

В рамках содержательного (физического) подхода разберем еще одну точку зрения. Речь пойдет о статье **Р. Пайерлса** [Peierls, 1980; Пайерлс, 1983], в которой дана классификация моделей, используемых в физике. Предлагаемая им классификация не претендует на всеобщность, «её можно назвать скорее рабочей, суммирующей большой опыт деятельности Р. Пайерлса, его друзей, к которым принадлежат многие создатели современной физики, и вообще, опыт перестройки физики, происходившей в первой половине нашего века и продолжающейся поныне» [Горбань, Хлебопрос, 1988, с. 28].

Вот эти 7 типов моделей по Пайерлсу:

- гипотеза (такое могло бы быть)⁹;
- феноменологическая модель (ведем себя так, как если бы);
- приближение (что-то считаем очень малым или очень большим);
- упрощение (опустим для ясности некоторые детали);
- эвристическая модель (количественного подтверждения нет, но модель способствует более глубокому проникновению в суть дела);
- аналогия (учтем только некоторые особенности);
- мысленный эксперимент (главное состоит в опровержении возможности).



**Пайерлс
Рудольф Эрнст**
(Sir Rudolf Ernst
Peierls;
1907-1995) –
немецкий,
британский
физик-теоретик;
иностраннный
член АН СССР
и РАН.



**Горбань
Александр
Николаевич**
(г.р. 1952) –
отечественный,
британский
математик,
биофизик.

**Хлебопрос
Рем Григорьевич**
(г.р. 1931) –
отечественный
математик,
эколог.



А.Н. Горбань и Р.Г. Хлебопрос [1988] добавили еще один тип моделей:

⁹ Названия типов и краткие комментарии в скобках принадлежат Р. Пайерлсу.

- демонстрация возможности (главное – показать внутреннюю непротиворечивость возможности).

Замечу, что все интерпретации предложенных типов моделей и примеры, естественно, заимствованы из физики. Так как в свое время, расширенный список законов экологии уже обсуждался [Реймерс, 1984, 1994; Розенберг, 1991а; Розенберг и др., 1999; Краснощеков, Розенберг, 2002], то попробую «наполнить» эти типы экологическим содержанием.

Гипотеза (такое могло бы быть).

Гипотеза (греч. *hypothesis* [от др.-греч. *ὑπόθεσις*] – основание, предположение, от *hypó* – под, внизу и *thésis* – положение; вслед за "Большой Советской Энциклопедией"; 3-е изд.) – предположение; то, что лежит в основе – причина или сущность. Гипотеза – выраженное в форме суждения (или системы суждений) предположение или предугадывание чего-либо. Гипотезы создаются по правилу: «то, что мы хотим объяснить, аналогично тому, что мы уже знаем». Любая гипотеза должна быть опровержима хотя бы в принципе; неопровержимые предположения гипотезами не являются. Естественно, что гипотеза должна быть проверяемой. Перечислю 38 гипотез, которые я выделил в ходе обсуждения 12 основных концепций современной экологии [Розенберг, 1991а; Розенберг и др., 1999]:

- гипотеза компенсации (замещения) экологических факторов В.В. Алёхина¹⁰ и Э. Рюбеля (E. Rübeler);
- гипотеза незаменимости фундаментальных факторов В.Р. Вильямса;
- гипотеза равновесия К. Петерсона (C. Peterson);
- гипотеза А. Николсона (A. Nicholson);
- гипотеза равных затрат Р. Фишера (R. Fisher);
- гипотеза дифференцированной специализации полов В.А. Геодакяна;
- гипотеза лимитирования численности популяций Х. Андресварта (H. Andrewartha) – Л. Бирча (L. Birch);
- гипотеза «распределения риска» П. Бура (P. Boer) и Я. Реддингиуса (J. Reddingius);
- гипотеза саморегуляции популяций Д. Читти (D. Chitty);
- гипотеза обеднения разнородного животного вещества в островных его сгущениях Г.Ф. Хильми;
- гипотеза циклического перенаселения популяций;
- гипотеза о представлении видов в форме совокупности особей–популяций С.С. Четверикова;

¹⁰ При перечислении этих 38 гипотез я из-за экономии места позволю себе не приводить портреты их авторов (тем более что большая часть из них приводится в других местах текста или их можно увидеть в еще одной моей работе [Розенберг, 2004]).

- гипотеза абиотической регуляции численности популяции;
- гипотеза биоценотической регуляции численности популяции К. Фридерикса (K. Friedericks);
- гипотеза поведенческой регуляции численности популяции Дж. Кристиана (J. Christian) и Д. Дейвиса (D. Davis);
- гипотеза экологического дублирования;
- гипотезы альфа-, бета- и гамма-разнообразия Р. Уиттекера (R. Whittaker);
- гипотеза краевого (экотонного) эффекта;
- гипотеза экосистемы А. Тэнсли (A. Tansley);
- гипотеза биогеоценоза В.Н. Сукачева;
- гипотеза консортивных связей В.Н. Беклемишева – Л.Г. Раменского;
- индивидуалистическая гипотеза Л.Г. Раменского – Г. Глизона (H. Gleason);
- гипотеза градиентов видов (эко-, топо-, хроноклины) и сообществ (ценоэко-, ценотопо-, ценохроноклины);
- гипотеза сообществ–единиц;
- гипотеза моноклимакса Ф. Клементса (F. Clements);
- гипотеза поликлимакса Г. Ничолса (G. Nichols) – А. Тэнсли (A. Tansley);
- гипотеза климакс-мозаики Р. Уиттекера (R. Whittaker);
- гипотеза подвижного равновесия А.А. Еленкина
- гипотеза пищевой корреляции (*коэволюции*) В. Уини-Эдвардса (V. Wynne-Edwards);
- гипотеза красной королевы (*The Red Queen; примат биотических факторов в эволюции*) Л. Ван Валена (L. Van Valen) и М. Розенцвейга (M. Rosenzweig);
- гипотеза обусловленности эволюции сукцессией Р. Маргалефа (R. Margalef);
- стационарная гипотеза (*примат абиотических факторов в эволюции*);
- гипотеза абиссальных сгущений жизни;
- гипотеза Геомериды В.Н. Беклемишева;
- гипотеза Геи Дж. Лавлока (J. Lovelock) – Л. Маргулис (L. Margulis);
- гипотеза биотической регуляции В.Г. Горшкова;
- гипотеза однонаправленности потока энергии;
- гипотеза константности В.И. Вернадского.

Все эти гипотезы подробно обсуждались [Розенберг и др., 1999]; здесь проиллюстрирую лишь первую из них.

Гипотеза компенсации (замены) экологических факторов связана с именами геоботаников **В.В. Алёхина** [1935, 1986] и **Э. Рюбеля** [Rübel, 1935]: отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован каким-либо другим близким (аналогичным) фактором. Организмы не являются «рабами» физических факторов (условий среды): они сами и приспосабливаются, и изменяют условия среды так, чтобы ослабить лимитирующее влияние тех или иных факторов.

У животных (особенно крупных) с хорошо развитой локомоторной способностью, компенсация факторов возможна благодаря адаптивному поведению – они избегают крайностей местного градиента условий. Как показали исследования, рептилии, искусно чередуя периоды пребывания в норах с выходами наружу, способны поддерживать свою внутреннюю температуру на достаточно постоянном и оптимальном уровне. Лабораторные исследования на ящерице *Tiliqua* показало, что она способна поддерживать температуру тела между 30 и 37 °С, передвигаясь между участками, температура которых колебалась от 15 до 45 °С.



Алёхин Василий Васильевич (1882-1946) – отечественный ботаник, эколог, геоботаник.



Рюбель Эдуард (Eduard August Rübel; 1876-1960) – швейцарский ботаник, физиолог растений.



Одум Юджин (Eugene Pleasants Odum; 1913-2002) – американский эколог.

Ю. Одум [1975, с. 140] приводит такой пример: некоторые моллюски (в частности, *Mytilus galloprovincialis*) при отсутствии (или дефиците) кальция могут строить свои раковины, частично заменяя кальций стронцием при достаточном содержании в среде последнего.

Легче всего эта гипотеза иллюстрируется на примере полифагов, способных «переключаться» с одного вида пищи на другой внутри группы кормов. Климатические факторы могут замещаться биотическими (вечнозеленые виды южных растений в континентальном климате могут расти в подлеске под защитой верхних ярусов, создавая собственный биоклимат).

В.К. Трапезников [1983; Трапезников и др., 1999] в серии экспериментов показал, что локальное внесение удобрений в известной степени компенсирует недостаток влаги, позволяя сельскохозяйственным растениям достигать сходных физиологических показателей. Также показано, что некоторым растениям нужно меньше цинка,

если они растут не на ярком солнечном свете, а в тени; в этих условиях имеющееся в почве количество цинка уже не становится лимитирующим.

Феноменологическая модель (ведем себя так, как если бы...).

Для физических систем этот тип моделей Р. Пайерлс [1983, с. 318] интерпретирует следующим образом: «данное физическое явление могло бы быть объяснено путем привлечения определенного механизма, однако имеющихся свидетельств недостаточно, чтобы убедить нас в справедливости такого истолкования».

Очень многие математические модели (прежде всего, в демэкологии) попадают под данный тип. В качестве примера рассмотрим классическую модель системы «хищник–жертва», предложенную А. Лоткой [Lotka, 1925] и В. Вольтерра [Volterra, 1926a,b, 1931; Вольтерра, 1976].

$$dN_1/dt = N_1 \cdot (r_1 - b \cdot N_2)$$

$$dN_2/dt = N_2 \cdot (k \cdot b \cdot N_1 - m) \quad ,$$

где $N_i(t)$ – плотность популяций i в момент времени t (в системе «хищник–жертва», $i = 1$ – «жертва», $i = 2$ – «хищник»); r_i – скорость экспоненциального роста популяций; m – коэффициент естественной смертности хищников; b – коэффициент хищничества; $k < 1$ – доля энергии, содержащейся в биомассе жертвы, которую хищник расходует на воспроизводство.

Подчеркну фундаментальное различие между жертвой и хищником: *«рысь бежит за своим ужином, а заяц – за своей жизнью»*. Именно по этой причине статистическое распределение контактов для жертвы – это распределения редких событий (такая встреча обычно означает гибель жертвы), а для хищников – распределение ближе к нормальному, что позволяет действовать им в более широких пространственно-временных границах.

Всегда представлялось заманчивым получить удовлетворительное (качественное и количественное) описание динамики этой системы «рыси–зайцы», однако такого рода попытки (например, [Leigh, 1968; Gilpin, 1973,



**Трапезников
Валентин
Кузьмич**
(г.р. 1931) –
отечественный
физиолог
растений.



1975; Gomatam, 1974]) дали «невероятно плохие» результаты, что нашло отражение даже в названии статьи **М. Гилпина**: "Едят ли зайцы рысей?" ("Do hares eat lynx?"). Попытки «усовершенствовать» модель Вольтерра и привлечение дополнительной информации (солнечной активности, данных метеостанций "Moose Factory" и "Fort

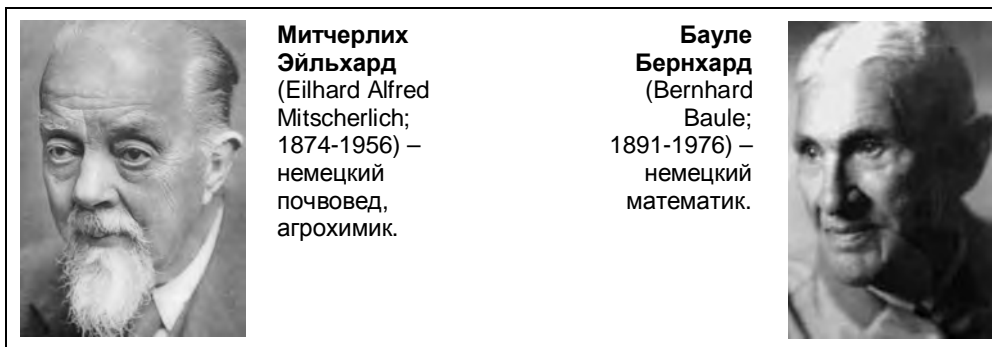
Норе" в районе Гудзонова залива) позволили методами самоорганизации синтезировать достаточно удовлетворительную (по качеству прогноза) модель, сильно отличающуюся от уравнений «типа Вольтерра» [Брусилковский, Розенберг, 1981а] – в этом наглядно проявляются принципы системологии (несводимость объяснения и предсказания в рамках одной модели сложной системы; см. главу 1). Это не означает, что аналитическая модель системы хищник–жертва бесполезна в экологических исследованиях; «целью Вольтерра являлось не точное описание какой-либо конкретной ситуации (для этого обычно больше пригодны статистические регрессионные модели), а исследование общих свойств таких систем» [Свирижев, 1976, с. 250].

Приближение (что-то считаем очень малым или очень большим).

«В качестве характерного примера отметим закон Ома. Мы определяем сопротивление всей цепи или ее части через отношение падения напряжения к току в пределе бесконечно малого падения напряжения. Мы уже достаточно привыкли к цепям, содержащим металлические проводники, и как раз в металлах трудно создать столь сильные перепады напряжения, чтобы наблюдать заметные отклонения от линейного закона. Из сказанного легко понять, почему многие привыкают считать закон Ома в качестве закона природы, а не обычного приближения. Поучительно поэтому представить себе те эффекты, которыми пренебрегли при формулировке линейного закона, и оценить их величину в некоторых практически интересных случаях» [Пайерлс, 1983, с. 320-321].

В факториальной экологии известен *закон совокупного действия природных факторов* **Э. Митчерлиха** и **Б. Бауле**. Основная идея этого закона состоит в том, что «каждый из факторов роста при изменении его количества, как это мы имеем с удобрениями или количеством влаги, или при изменении напряженности (свет, тепло), соответственным образом влияет на урожай, независимо от того, находится ли он в минимуме, или нет» [Кирсанов, 1930, с. 20] и что зависимость биомассы от какого-либо одного фактора задается следующим уравнением:

$$dy/dx = k \cdot (A - y) ,$$



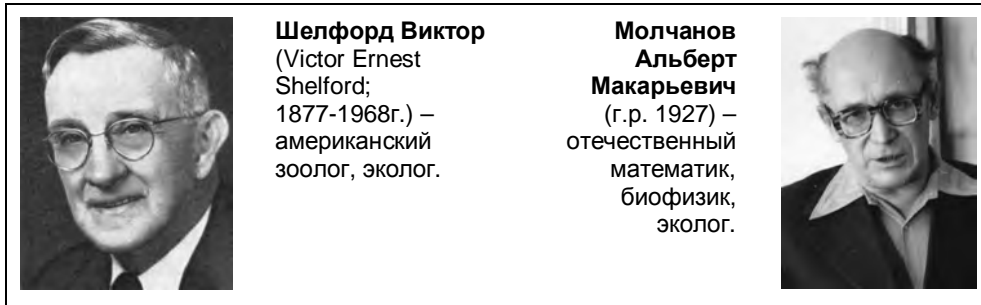
где $y(x)$ – величина биомассы (урожая) при значении фактора x ; A – максимально возможная биомасса при оптимальном воздействии фактора x ; k – некоторый коэффициент, характеризующий действие фактора x . Величина каждого отдельного фактора в их совокупном действии различна.

Таким образом, предлагаемая модель задает линейную зависимость скорости изменения биомассы (первой производной) от величины самой биомассы (предполагается, что «повышение урожая идет пропорционально разности между максимальным и фактически полученным урожаем» [Кирсанов, 1930, с. 61]). Почему?

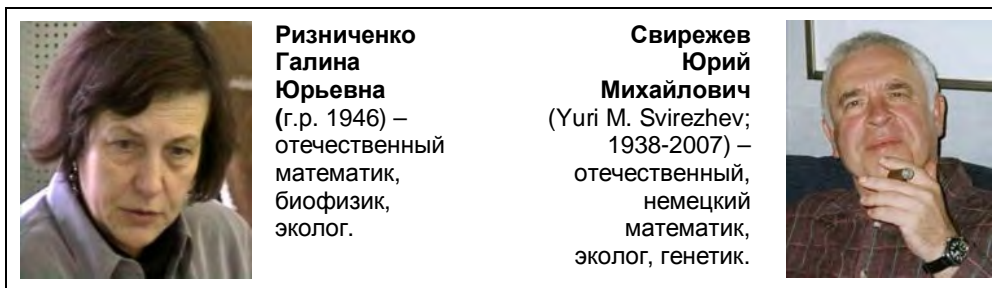
При переходе от лабораторных опытов в вегетационных сосудах к полевым испытаниям «мы видели также, что полевой опыт часто не позволяет делать заключения относительно запасов в почве фосфорной кислоты и калия, но при работе в сосудах мы нередко сталкиваемся с противоречивыми показаниями, как, например, на черноземе: азот дает повышение урожая в сосудах и часто не оказывает никакого эффекта на той же почве в поле» [Кирсанов, 1930, с. 48]. В дальнейшем Митчерлих уточняет свое основное уравнение, вводя дополнительный («квадратичный» по x) член:

$$dy/dx = k \cdot (A - y) - k_1 \cdot x \cdot y,$$

где k_1 – некоторый коэффициент, характеризующий депрессивное взаимодействие биомассы и воздействующего фактора (в частности, на величину k_1 сильное влияние оказывает буферность почвы, эта величина зависит от того, какие удобрения и в каких сочетаниях вносятся в почву и пр. [Кирсанов, 1930]). Этим коэффициентом k_1 , фактически, в формуле Митчерлиха учитывается лимитирующее действие высоких «доз» анализируемого фактора (*закон толерантности Шелфорда*). Аппроксимацию, калибровку и проверку работоспособности модели Митчерлиха–Бауле по данным многофакторных полевых опытов с сельскохозяйственными культурами можно найти в публикациях [Пуховский, 2010; Пуховский, Хохлов, 2010].



Таким образом, этот пример демонстрирует возможную степень приближения (упрощения) математических моделей экологических систем, что позволяет и для объяснения, и для прогнозирования использовать достаточно простой (линейный) вариант, «отбрасывая» всякую нелинейность. Но в этом случае следует помнить образное и очень точное высказывание **А.М. Молчанова** [1975, с. 135], который писал: «те биологические системы, которые не смогли охватить громадный диапазон жизненно значимых воздействий среды, попросту вымерли, не выдержав борьбы за существование. На их могилах можно было бы написать: *"Они были слишком линейны для этого мира"*. Но такая же судьба ожидает и математические модели, не учитывающие этой важной особенности жизни». Сходные рассуждения находим и у **Г.Ю. Ризниченко** [2000, с. 477, 478]: «Линейные физико-математические представления сыграли злую шутку с человечеством, культивируя представления о всеисилии человеческого духа в познании и эксплуатации природы... В практическом смысле нелинейная наука решает задачу поиска способов изучения и управления стохастическими и невоспроизводимыми системами и процессами. В мировоззренческом смысле нелинейное мышление снимает антагонизмы любой природы – в этом его общечеловеческое значение».



В этом же контексте следует назвать и одну из последних работ **Ю.М. Свирижева** [Svirezhev, 2008], в которой дан критический обзор канонических нелинейных моделей в теоретической популяционной экологии (модели одновидовых популяций, систем хищник–жертва и конкурирующих

видов, миграции в пределах метапопуляций, трофических цепей и пр.). При этом сделана попытка ответить на вопрос: является ли «вольтеровский» тип нелинейности достаточным для описания реально наблюдаемых нелинейных взаимодействий, или мы нуждаемся в более сложном формализме (в полном соответствии с высказыванием **А. Пуанкаре**, которое Свирежев выбрал в качестве эпиграфа к своей статье: «Когда мы изучаем историю науки, мы обнаруживаем два взаимных противоположных явления: или простота скрывается за очевидной сложностью, или, напротив, очевидная простота скрывает в себе экстраординарную сложность»). Вывод Свирежева строг, прост и, в какой-то степени, ожидаем: «сложность нашего реального мира существенно выше, чем мир, подразумеваемый моделями Вольтерра» [Svirezhev, 2008, p. 101].



Пуанкаре Анри
(Jules Henry Poincaré;
1854-1912) –
французский физик,
математик, философ;
иностранное чл.-корр.
Императорской Санкт-
Петербургской АН.

Упрощение (опустим для ясности некоторые детали).

Этот и следующие два типа моделей объединены идеей «упрощения», демонстрируя, что упрощение бывает разным. Аналитические модели строятся по незначительному числу основных, с точки зрения исследователя, переменных, и поэтому трудно ожидать, что все черты модели будут одинаково хорошо соответствовать моделируемой системе. «Так как биологические системы обычно очень велики, а количество управления, которое способен совершить любой регулятор, всегда остается ограниченным, то биологу или инженеру приходится самому делать выбор – какими параметрами системы ему можно пренебречь, а какие – контролировать» [Эшби, 1959, с. 12]. В данном случае, в качестве примера опять рассмотрим модель системы «хищник–жертва».

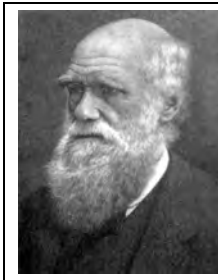
При аналитическом описании реальной системы, например, «зайцы–рыси», исследователь вынужденно идет на некоторые упрощения (зайчатину «любит» не только рысь, но и, например, красная лисица, численность популяции зайцев будет зависеть от их кормовой базы, можно учесть в описании стратегию охоты на зайце и рысей и пр. Однако, если все это учесть, то, скорее всего, на «выходе» получим имитационную модель, более пригодную для прогнозирования, чем для объяснения наблюдаемых феноменов. Неизбежные и многочисленные упрощения при построении объяснительных аналитических моделей крайне неутешительно наблюдать практикам экологам; однако, при анализе таких моделей следует четко отдавать себе отчет в том, для каких целей построены эти модели.

Эвристическая модель (количественного подтверждения нет, но модель способствует более глубокому проникновению в суть дела).

Самый простой пример эвристической модели в экологии – модель экспоненциального роста численности популяции Т. Мальтуса, предложенная в 1798 г. (см. главу 5, раздел 2):

$$\frac{dx}{dt} = \varepsilon x, \quad x(t) = x_0 e^{\varepsilon t},$$

где $x(t)$ – некоторая характеристика популяции (численность или биомасса) в момент времени t ; ε – разница между коэффициентами рождаемости и смертности, x_0 – характеристика популяции в начальный момент времени $t = 0$.



Дарвин Чарльз
(Charles Robert Darwin;
1809-1882) –
британский врач,
естествоиспытатель,
натуралист; чл.-корр.
Императорской Санкт-
Петербургской АН.

Эта модель послужила одним из отправных пунктов для **Ч. Дарвина** при создании теории эволюции видов.

Замечу, что модель Мальтуса имеет весьма ограниченную сферу применения (количественная адекватность очень незначительна), так как соответствует только определенным фазам роста популяций.

Аналогия (учтем только некоторые особенности).

Здесь в качестве примера назову модель ярко механистического характера, которая сегодня представляет, в основном, исторический интерес – модель подвижного равновесия **А.П. Ильинского** [1921]:



**Ильинский
Алексей
Порфирьевич**
(1888-1945) –
отечественный
ботаник,
геоботаник.

$$y(t) = \frac{p}{q} + \frac{a}{2} \sin[x(t)],$$

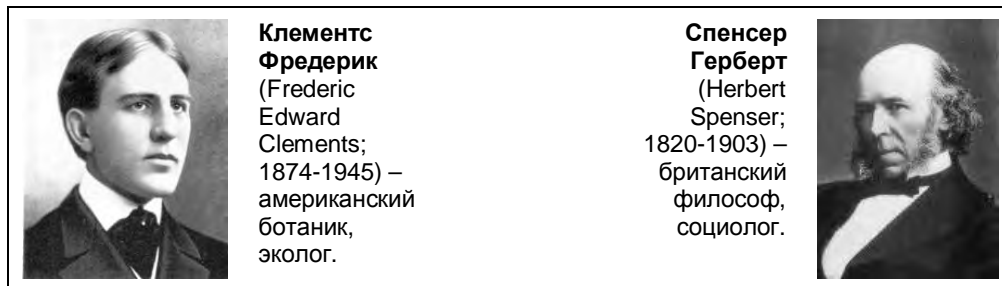
где $y(t)$ – характеристика популяции (например, встречаемость в определенном месте в момент времени t ; p – сумма «наследственных потенций»; q – условия конкретного местообитания, которые ограничивают осуществление этих потенций; a – амплитуда колебаний внешней среды (или условий, находящихся в минимуме в соответствии с *законом Либиха*), $x(t)$ – функция времени. Если $x = 0$, то $y = p/q$ представляет собой «тип» данного местообитания, выраженный через среднюю величину интересующего нас параметра (встречаемости).

Таким образом, в рамках данной гипотезы процесс управления сукцессией и достижения климаксового состояния «отдан» только абиотическим компонентам экосистемы. По-видимому, в этом и слабость, и сила данной модели, которая подвергалась критике с момента ее появления.

Мысленный эксперимент (главное состоит в опровержении возможности).

Этот тип моделей несколько отличается по своей природе от остальных. Он носит название мысленного (немец. *Gedanken*) эксперимента и служит, в первую очередь, для ниспровержения выдвинутых гипотез (например, цикл Карно в термодинамике, задающий предельный значения КПД тепловой машины, работающей в заданном температурном диапазоне) или демонстрации невозможности некоторого процесса без нарушений уже принятых закономерностей (демон Максвелла в той же термодинамике).

Экологическим «эквивалентом» мысленного эксперимента в экологии, пожалуй, следует признать часто обсуждаемые «организменные аналогии» для экосистем (соотношение дискретности и непрерывности в экосистемах). Прежде всего, они связаны с именем **Ф. Клементса** [Clements, 1916, p. 124]: «Единица растительности климакс-формация является органическим энтитетом. Формация зарождается, растет, созревает и умирает как организм... Далее, каждая климакс-формация способна вновь самозарождаться, повторяя точно в более важных чертах ступени своего развития». Замечу, что Клементс продолжил философско-позитивистские аналогии английского философа **Г. Спенсера**, считавшего, что человеческое общество есть организм



(классы общества – органы этого «организма»). Наиболее полный и интересный обзор истории, становления и современного состояния концепции континуума приведен в монографии **Б.М. Миркина** и **Л.Г. Наумовой** [1998].

Анализ причин, приводящих к дискретности и континууму, позволил **В.С. Ипатову** и **Л.А. Кириковой** [1997, с. 228] выделить среди них взаимоисключающие пары (см. **табл. 7.1**).

| | | | |
|--|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Миркин Борис Михайлович (г.р. 1937) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог. | Наумова Лениза Гумеровна (г.р. 1947) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог. | Ипатов Виктор Семёнович (г.р. 1930) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог. | Кирикова Людмила Александровна (1929-2004) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог. |

Таблица 7.1

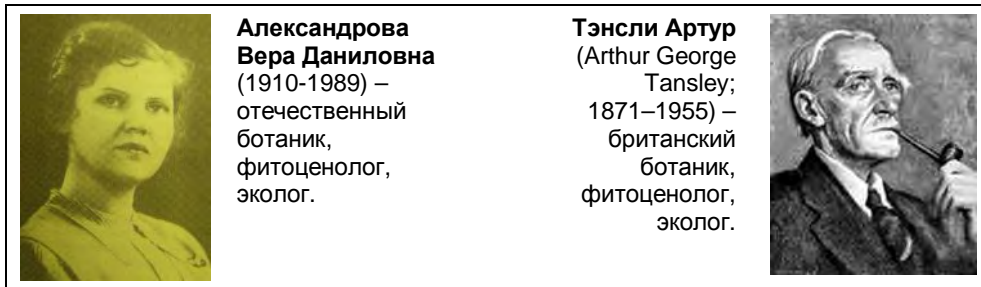
Причины непрерывности и дискретности растительности

| Причины непрерывности | Причины дискретности |
|--|---|
| 1. Постепенность изменения среды и тесная зависимость от нее распределения видов в пространстве (непрерывность экотопа). | 1. Наличие переломных пунктов в изменении прямодействующих факторов (дифференцированность экотопа). |
| 2. Неспецифичность воздействия видов на среду. | 2. Специфичность трансформации среды растениями. |
| 3. Равномерность воздействия на среду природных факторов («растекание» видов в пространстве). | 3. Катастрофическое воздействие на среду и растительный покров природных факторов. |
| 4. Непрерывность воздействия на среду и растительность деятельности животных и человека. | 4. Дискретность воздействия на среду и растительность деятельности животных и человека. |
| 5. Отсутствие экологических групп видов. | 5. Наличие экологических групп видов. |

Если принять эти пять пар причин за основу, то на конкретном участке пространства возможно возникновение $2^5 = 32$ различных ситуаций, проанализировать которые достаточно сложно в силу того, что каждая из причин может оказывать различное по силе влияние, зачастую «уравновешивая» или «заменяя» другие причины. Однако, учитывая, что причины 1, 3, 4 и 5, в известной мере, отражают разные стороны одной комплексной причины, связанной с характером воздействия среды на растения, эту схему можно редуцировать всего до двух причин: непрерывности - дискретности экотопа и специфичности - неспецифичности воздействия растений на среду; тогда число возможных ситуаций сокращается до четырех ($2^2 = 4$).

Две «крайние» ситуации легко задают необходимые условия существования непрерывности (непрерывность экотопа и неспецифичность воздействия видов на среду) и дискретности (дифференцированность экотопа и спе-

цифичность трансформации среды растениями). Правда, в последнем случае возможна ситуация «несовпадение границ» основных причин, что приведет к возникновению более «пестрой картины» в распределении растительности, которая может идентифицироваться как непрерывность. Ситуация постепенности изменения среды и специфичности воздействия на нее растений будет в значительной степени зависеть от числа эдификаторов: для одного эдификатора (бореальная растительность) в этом случае можно говорить о дискретности; в случае полидоминантности (например, луговая растительность) на фоне непрерывности воздействия среды происходит «наложение» полей воздействия эдификаторов, что приводит к возникновению непрерывности. Наконец, при неспецифичности воздействия видов на среду и наличии переломных пунктов в воздействии экологических факторов будет наблюдаться дискретность (влияние снежного покрова на растительность тундры – по данным **В.Д. Александровой**; см.: [Ипатов, Кирикова, 1997, с. 229]).



Достаточно прямолинейные аналогии Клементса между организмами и сообществами с самого их появления подвергались критике. Так, **А. Тэнсли** [Tansley, 1920, p. 122] отрицал такие аналогии: «из того, что единицы растительности выгодно рассматривать как органические целостности, нельзя заключить, что сравнение с организмами, которое до известного предела может быть оправдано, оправдывало бы нас при аргументации, которой мы объясняем сущность и развитие единицы растительности исходя из сущности и развития самого организма».

С этих позиций можно говорить о превалировании непрерывности над дискретностью в растительности, однако само наличие «дилеммы дискретность – непрерывность» заставляет использовать различные методы изучения растительности и экосистем в целом – и классификацию, и ординацию, причем классифицируют не только дискретные, но и непрерывные сообщества (например, растительные сообщества лугов), так же, как и ординируют существенно дискретные сообщества (например, «крест Сукачева» для типов еловых лесов).

Демонстрация возможности (главное – показать внутреннюю непротиворечивость возможности).

Модели этого типа – это тоже модели мысленного эксперимента, но если в предыдущем случае (опровержение возможности) проводился эксперимент с более или менее реальными объектами (тот или иной тип расти-

тельного сообщества, например), то для данного типа это не обязательно, хотя, конечно, желательно. Главное здесь – демонстрация того, что предполагаемое явление не противоречит основным принципам и внутренне непротиворечиво [Горбань, Хлебопрос, 1988]. В экологии, пожалуй, этому типу моделей лучше всего соответствуют различные представления об эволюции экосистем (филоценогенез)¹¹.

¹¹ Здесь уместно вспомнить Изадора Наби (Isadore Nabi; иногда Isidore Nabi или Isador Nabi) – псевдоним группы экологов-эволюционистов (**Р. Левонтин**, **Р. Левинс**, **Р. Мак-Артур** и **Л. Ван Вален**), которые в 60-х годах прошлого столетия, вдохновленные коллективом математиков, писавших под псевдонимом Николая Бурбаки (Nicholas Bourbaki), пытались разработать «единую теорию» эволюционной биологии. Вскоре проект был прерван и в 80-х годах имя «Изадор Наби» использовалось ими в сатирико-критических («козьмапруговских») целях [Nabi, 1980, 1981a,b и др.]. Особо отмечу «Эволюционную интерпретацию английского сонета» [Nabi, 1980], в которой «обосновывается» оптимальность 14-строчного сонета как части поведения ухаживания в контексте «Социобиологии» **Э. Уилсона** [Wilson, 1975] и «Эгоистичного гена» **Р. Докинза** [Dawkins, 1976] (14 – это подгармоника 28-дневного менструального цикла, что свидетельствует о «глубоких инстинктивных ритмах»; народы, пишущие сонеты, – самые успешные в мире; нет никаких свидетельств о том, что неандертальцы писали сонеты, потому и вымерли; наконец, сонет редко встречается в гей-литературе...).



Левонтин Ричард (Richard [Dick] Charles Lewontin; г.р. 1929) – американский генетик, биолог-эволюционист.



Левинс Ричард (Richard [Dick] Levins; г.р. 1938) – американский математик, эколог.



Мак-Артур Роберт (Robert Helmer MacArthur; 1930-1972) – американский математик, эколог, генетик, биогеограф.



Ван Вален Ли (Leigh M. Van Valen; 1935-2010) – американский биолог-эволюционист.



Уилсон Эдвард (Edward Osborne Wilson; г.р. 1929) – американский энтомолог, этолог, эколог, биогеограф.



Докинз [Доукинз] Ричард (Clinton Richard [Dick] Dawkins; г.р. 1941) – британский этолог, эволюционный биолог, популяризатор науки.

В соответствии с двумя основными представлениями о структуре и функционировании экосистем («организмизмом» и непрерывностью) различают две модели эволюции – эволюция экосистем как целостностей (параллельная) и сетчатая модель эволюции (см. **рис. 7.1**).

Сторонники дискретного видения экологического мира рассматривают эволюционный процесс как взаимоприспособление (*коадаптацию*) видов экосистемы: чем дольше существует экосистема, тем более «подогнаны» друг к другу виды. Возникновение новых типов экосистем рассматривается ими как следствие процесса «гибридизации» исходных типов, называемых *вкладчиками*.

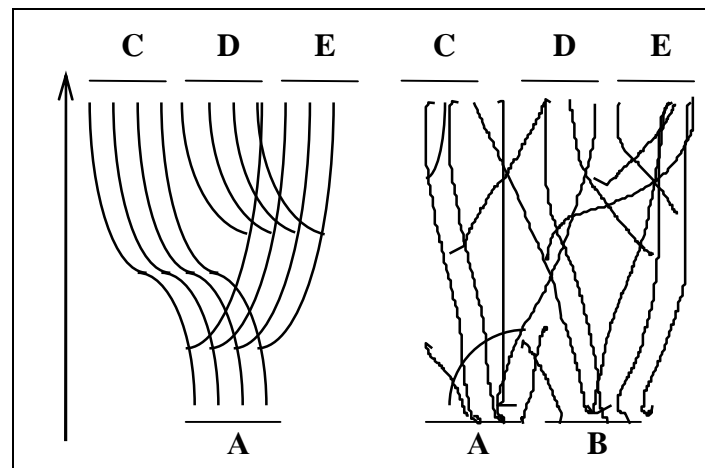


Рис. 7.1. Графическое изображение двух направлений в ассоциации видов в процессе эволюции (каждая линия представляет один вид).

На **рис. 7.1** *слева* – параллельная эволюция, три сообщества (C, D и E) происходят от исходного, древнего сообщества A; *справа* – сетчатая модель эволюции; центры популяций древних видов распределены вдоль градиента окружающей среды, A и B – древние типы сообществ; через эволюционное время виды произвольно изменяют распределение по градиенту, часть из них эволюционирует параллельно, некоторые разделяются на два и более вида, другие погибают, одни эволюционируют в направлении выхода из данного древнего сообщества, иные проникают в новое сообщество из других сообществ. После периода эволюции «на выходе» различимы три сообщества (C, D и E), общее число видов несколько увеличилось, и их распределение по

градиенту характеризуется как «более непрерывное»; наконец, виды каждой группы имеют различную эволюционную историю возникновения ассоциации с другими видами.

Эти два гипотетических типа эволюции сообществ представляют собой *модели демонстрации возможностей*. Каждая из них – непротиворечива в рамках основных парадигм. В силу дедуктивного характера этих моделей (а модели данного типа, неизбежно, должны быть дедуктивными), они не требуют ни своего подтверждения, ни опровержения.

* *
*

Рассмотренные восемь типов моделей – это восемь исследовательских позиций при моделировании. В добавлении к ним А.Н. Горбань и Р.Г. Хлебопрос [1988] формулируют четыре дополнительных тезиса:

- Модель никогда не бывает полностью идентична реальному объекту.
- При построении любой модели обычно не учитываются какие-нибудь уже известные (воспринимаемые) стороны реальности.
- При построении и использовании модели всегда, так или иначе, применяются умозаключения по аналогии – а как иначе можно пройти путь от реального объекта к идеальному и обратно?
- При построении модели всегда мысленно «проигрывается» существование (движение, поведение, функционирование) идеальных объектов в возможном мире. Здесь есть место мысленному эксперименту и демонстрации возможности.

Эти тезисы в интерпретации авторов, и не согласуются с классификацией (так, первый из них приходит в противоречие с первым типом моделей: реальность не может совпадать с моделью, поэтому предположение «такое могло бы быть» никогда не выполняется), и тут же обосновывается ими (с использованием *постулата презумпции осмысленности*¹²) их соответствие классификации моделей.

«Общим элементом для всех этих разных типов моделей служит то, что они помогают нам более ясно представить существо физических (*добавлю, – и экологических. – Г.Р.*) проблем путем анализа упрощенных ситуаций, более доступных нашей интуиции. Эти модели служат ступеньками на пути к рациональному объяснению реальной действительности» [Пайерлс, 1983, с. 332].

¹² Понять можно то, что имеет смысл. *Презумпция осмысленности* – гносеологический постулат понимания, согласно которому каждое положение должно считаться осмысленным и имеющим основания, пока скрупулезно не показано обратное (см., например, [Попович, 1982]).

4. Системный подход

Ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что экологические системы относятся к объектам сложной природы (см., например, [Розенберг, 1988; Розенберг и др., 2002 и др.]). Именно этим и объясняются различия в методологиях изучения физических и биологических систем. Как было показано выше, физика направлена на изучение (пусть даже очень сложными методами) простых явлений, в то время как биология пытается сравнительно простыми методами исследовать сложнейшие объекты материального мира. При этом, в отличие от «приоритета» аддитивных энергетических взаимодействий в физике, в биологии на первый план выступают структурно-функциональные особенности организации биосистем, что и привело к неудаче «неадаптированного» физического подхода при построении «всего здания» теоретической биологии – «физиков в биологии интересует то, что менее всего интересует в ней биологов» [Межжерин, 1974, с. 100]. Таким образом, для теоретической физики системность объектов – это нечто случайное, без чего она может благополучно обойтись, в то время как для теоретической биологии, по-видимому, это единственный путь развития [Старостин, 1974; Jørgensen et al., 2007].

Системный подход в экологии (в отличие от физического) не интересуется взаимодействиями видов [Миркин, Розенберг, 1978а; Флейшман, 1986; Розенберг, 1988]. Он рассматривает в качестве элементарных объектов целые экосистемы и их функциональные блоки, не затрагивая их внутреннюю структуру. Представления этого подхода во многом заимствованы из кибернетики, теории систем и некоторых разделов термодинамики. Экологический мир при этом представляется состоящим из отдельных – дискретных и целостных – экосистем [Розенберг, Смелянский, 1997], которые, в свою очередь, образованы несколькими структурно-функциональными блоками. Так же, как и при содержательном (физическом) подходе, экосистемы сами по себе стабильны или стационарны. В этом состоянии для них характерны некоторые постоянные соотношения между блоками, выражаемые, например, в виде пирамид энергии или биомассы. Блоки связаны между собой потоками энергии и информации, образуют трофические цепи, понимаемые при системном подходе несколько иначе, чем при физическом. Сукцессия экосистем представляет собой процесс их самоорганизации.

«Три кита» физикализма в системологии приобретают полностью противоположное содержание (см. таблицу в разделе 7 главы 1). Прежде всего, объекты исследования требуют *целостного изучения* (отказ от редукционизма), что связано с наличием у сложных систем таких свойств, которые не

выводятся из знания их для отдельных элементов системы (существенная неаддитивность этих свойств). Например, можно экспериментально определить устойчивость к некоторому загрязнителю растений каждого вида, входящего в интересующее нас растительное сообщество, но это знание не позволит определить устойчивость к загрязнению самого сообщества.

Второй принцип – *экспериментальность* – также получает другое звучание. В природе легко указать объекты, которые являются уникальными (например, Самарская Лука или оз. Байкал) или очень протяженными и неоднородными по своей внутренней структуре (например, биом тайги). В этой ситуации естественнонаучное понятие «эксперимент» расширяется за счет экспериментирования на ЭВМ с моделями тех или иных природных объектов [Флейшман, 1982]. Более того, «перенос» приобретенного в этом случае знания на сходные объекты возможен лишь на качественном уровне.

Так, американские экологи под руководством **Дж. Вудвелла** [Woodwell, 1962, 1963] в течение многих лет экспериментально изучали влияние источника гамма-излучения с радиусом действия около 150 метров на изменение растительности дубово-сосново-



Вудвелл Джордж
(George M. Woodwell;
г.р. 1935) –
американский
радиобиолог,
эколог.

го леса в Брукхейвенской национальной лаборатории на о. Лонг-Айленд. Они установили, что наиболее устойчивы к радиоактивному излучению – почвенные водоросли, мхи, лишайники, далее следуют осоки, вереск, дуб и самой слабой оказывается сосна (анализ показал, что в целом устойчивость об-

ратно скоррелирована с размером хромосом). Этот очень интересный вывод нельзя применить, например, к тропическому лесу хотя бы по той простой причине, что там сосна не растет... Таким образом, данное экспериментальное (в «физикалистском смысле») исследование представляет несомненную ценность с методической точки зрения, но не может помочь (имеется ввиду, прежде всего, количественный прогноз) в изучении аналогичных изменений не только в тропиках, но и в самом Брукхейвенском лесу в целом, так как экспериментом была охвачена лишь его незначительная часть (около семи гектаров).

Наконец, системология «восстановила» в правах *категорию цели*, а **Б.С. Флейшман** [1982, с. 27] даже предложил понятие «объективной телеологии» с экспериментальным определением цели биосистем. Так, согласно классификации необратимых изменений растительности **В.Н. Сукачева** [1954] с некоторыми дополнениями [Миркин, Розенберг, 1978б], можно считать, что автогенные сукцессии (как сингенез, так и эндоэкогенез) направлены на стабилизацию продуктивности (стратегическая цель растительного со-

общества), которая может достигаться различными способами (например, за счет компенсаторной функции видов, когда один вид без «ущерба» для сообщества заменяется другим – тактическая цель). При этом следует учитывать, что современные представления об автогенных сукцессиях не ставят в прямую зависимость рост биоразнообразия, повышение сложности пространственной структуры и продуктивности сообществ при движении к климаксу. «Более того, возможна смена прогрессивной сукцессии с нарастанием продуктивности и флористического богатства регрессивной с обратными тенденциями. Пики продуктивности и разнообразия наблюдаются в предклимаксовых стадиях, причем могут не совпадать: самое продуктивное сообщество вовсе не обязательно должно быть самым устойчивым и самым богатым видами» [Миркин, Наумова, 1998, с. 176].



**Флейшман
Бенцион Семёнович
[Шимонович]**
(г.р. 1926) –
отечественный
математик, системолог.



**Сукачёв
Владимир Николаевич**
(1902-1982) –
отечественный ботаник,
геоботаник, лесовед,
эколог; академик АН СССР.



Уиттекер Роберт
(Robert Harding
Whittaker; 1920-1980) –
американский эколог,
ботаник, фитоценолог.

Р. Уиттекер [1980] указывает ряд особенностей, характерных для эндоэкогенетических сукцессий – прогрессивное развитие почв, увеличение высоты, биомассы и ярусного расчленения растительных сообществ, возрастание запаса элементов минерального питания в почве и растениях, возрастание продукции, увеличивающийся «контроль» микроклимата со стороны самого фитоценоза, увеличение видового разнообразия, континуумобразный характер смены видовых популяций по оси времени от небольших по размерам и недолговечных растений к более крупным и более долговечным и, наконец, возрастание относительной устойчивости сообществ. Все эти процессы могут рассматриваться как «движение» сообщества к некоторой цели, например, к климаксовому состоянию. Как было показано в работе [Шварц, 1967], стратегия жизни сводится к самоулучшению условий своего существования; тактически эта задача решается путем реализации «себе на пользу» всех внешних воздействий.

Новая системная методология заставляет с иных позиций подходить и к выбору системных параметров исследуемых сложных объектов, и к форми-

рованию связывающих их законов. Различия между простыми и сложными (системными) свойствами сложных объектов уже обсуждались ранее (пожалуй, основной параметр различия – аддитивность свойств; наиболее подробно см. [Розенберг и др., 1999]).

П.М. Брусиловский [1985] представляет биологическое знание в виде упорядоченного набора четырех основных элементов:

- множества биосистем,
- множества их целостных (сложных) характеристик,
- различных отображений между этими двумя множествами и
- множества отношений между отдельными биосистемами из первого множества.

Для экологии множеством биосистем будет множество различных экологических объектов (биомы, экосистемы, синузии, ценочейки и пр.). Законы теоретической экологии должны быть направлены на вскрытие именно отношений между экосистемами и их целостными характеристиками, – какие экосистемы обладают теми или иными целостными характеристиками, и какие целостные характеристики присущи экологическим объектам. Например, растительное сообщество может характеризоваться такими целостными параметрами как устойчивость, сложность, живучесть, а такая характеристика как замкнутость присуща фитоценозу и отсутствует у пионерной группировки. Наконец, множество отношений между экологическими объектами определяет многообразие явлений и процессов (например, непрерывный характер изменений растительности в пространстве и во времени). Теоретическая экология, таким образом, должна дать «полный список» экосистем, их целостных характеристик и задать формализованные отношения как между этими двумя множествами, так и между объектами первого из них. Естественно, что такая задача (составление «полного списка») чрезвычайно сложна для одного автора и потому настоящая работа является лишь конспектом теоретической экологии.

Физикализм исследует простые свойства простых и сложных систем, т. е. практически независимые свойства. Модели отношений между физическими объектами и их простыми свойствами формулируются на основе экспериментов и рассматриваются как *простые законы природы*. Иными словами, законы являются постулатами, установленными на основе проведенных ранее экспериментов для объяснения и прогнозирования будущих (индуктивный способ построения физической теории: от частного к общему; [Флейшман, 1982]). Уязвимость такого способа формирования законов состоит в том, что достаточно одного эксперимента, «не укладывающегося» в рамки предложенного закона, чтобы опровергнуть его.

Системология для построения *теории сложных систем* использует другой логический подход – дедукцию (движение от общего к частному).

Б.С. Флейшман [1982; Fleishman, 1995] предложил три основных принципа системологии, с помощью которых можно строить законы, и указал конструктивный путь их построения через создание моделей потенциальной эффективности сложных систем.

- В соответствии с *первым принципом* (формирования законов) постулируются осуществимые модели (т. е. задается дедуктивный характер построения теории), из которых в виде теорем выводятся законы сложных систем. Это отличает законы системологии от законов физики, а дополнительное требование осуществимости – от теорем математики.
- *Второй принцип* (рекуррентного объяснения) задает вывод свойств систем данного уровня, исходя из постулируемых свойств элементов – систем непосредственно нижестоящего уровня и связей между ними (так, свойства экосистемы должны выводиться из постулируемых свойств и связей составляющих её популяций растений и животных, свойства популяций – из свойств и связей особей и т. д.). Данный принцип узаконивает при исследовании эмерджентных свойств сложных систем отказ от редукционизма.
- *Третий принцип* (минимаксного построения моделей) указывает, что теория должна состоять из простых моделей систем, каждая из которых хотя бы в минимальной (*min*) степени отражает нарастающий (*max*) уровень сложности поведения систем. Принцип, фактически, в качестве «платы» за простоту моделей сложных систем устанавливает множественность и оценочность (неадекватность оригиналу) этих моделей.

Иными словами, рекомендуется строить простые модели сложных систем, структура и поведение которых оптимальны в некотором смысле. Эти модели будут выполнять роль законов потенциальной эффективности поведения сложных систем. Знание предельных законов имеет и непосредственный практический интерес, так как избавляет исследователя от бесплодных усилий типа поиска *perpetuum mobile* и более реально задает возможную область существования изучаемой системы.

Еще один вариант системного (точнее, *полисистемного*) построения экологической теории предлагается **А.К. Черкашиным** [1997, 2005]. «Принципиальное, качественное различие системных и полисистемных подходов заключается в том, что полисистема – не система, полисистема –



**Черкашин
Александр
Константинович**
(г.р. 1952) –
отечественный
географ, эколог.

антисистема. Система подразумевает наличие элементов и связей между ними, того общего, что позволяет одному элементу "перетекать" в другой... Полисистема – в общем, тоже система, но совершенно нового качества строения и связей. В полисистеме, напротив, все её части изолированы, не связаны, независимы, *расслоены на непересекающиеся составляющие*. Реализуется системный принцип *единства многообразного*... Так, если моносистема – лист, то полисистема – блокнот, а не один очень толстый лист» (*выделено автором. – Г.Р.*) [Черкашин, 2005, с. 17]. При этом, полисистема рассматривается как множество непересекающихся (независимых, ортогональных) разнокачественных слоев, которые связаны друг с другом посредством различного рода отображений (морфизмов). В этом можно видеть реализацию редукционистского метода (подчеркну, не методологии; см. раздел 1.5); соотношение «система – полисистема» выступает в качестве своеобразной иллюстрации соотношения «непрерывность – дискретность» для экосистем.



Коммонер Барри
(Barry Commoner; 1917-2012) – американский эколог, общественный деятель.

В какой то степени, реализацией полисистемного принципа моделирования является экспертно-информационная система REGION [Rozenberg, Shitikov, 1993; Розенберг, 1997; Костина, 2005]. Однако на пути полисистемного построения экологической теории имеется одно трудно преодолимое препятствие: необходимо выделять независимые (ортогональные) системы, что для экосистем выглядит весьма проблематичным (вспомним «все связано со всем – англ. *everything is connected to everything else*» **Б. Коммонера** [1974]...).

Этот раздел написан как обсуждение (с возможностью использования для экологии) очень интересной статьи **Г.Р. Иваницкого** [2010], которая появилась к 65-летию выхода в свет знаменитой книги Э. Шрёдингера "Что такое жизнь с точки зрения физики?" [Шрёдингер, 1947, 1972] и о которой, в свою очередь, говорилось выше (глава 7, раздел 3). Рассматривая эволюцию биофизической парадигмы за это время, Иваницкий показывает, что все признаки, которыми характеризуются живые системы, встречаются и в системах неживых.

5. О «парадоксах жизни» и их приложениях к теоретической экологии

Этот раздел написан как обсуждение (с возможностью использования для экологии) очень интересной статьи **Г.Р. Иваницкого** [2010], которая появилась к 65-летию выхода в свет знаменитой книги Э. Шрёдингера "Что такое жизнь с точки зрения физики?" [Шрёдингер, 1947, 1972] и о которой, в свою очередь, говорилось выше (глава 7, раздел 3). Рассматривая эволюцию биофизической парадигмы за это время, Иваницкий показывает, что все признаки, которыми характеризуются живые системы, встречаются и в системах неживых.



Иваницкий Генрих Романович
(г.р. 1936) – отечественный биофизик; чл.-корр. АН СССР и РАН.

Иваницкий показывает, что все признаки, которыми характеризуются живые системы, встречаются и в системах неживых.

вой природы. Это позволяет ему предложить оригинальное определение жизни, основанное на пространственно-временной иерархии структур и комбинаторно-вероятностной логике (жизнь – это «результат процесса игры взаимодействий материи, в которой одна её часть приобрела свойство запоминать вероятности появления удач и неудач в предыдущих раундах этой игры, повышая тем самым свой шанс на существование в последующих раундах; эту часть материи сегодня называют живой материей» [Иваницкий, 2010, с. 337]).

Для теоретической экологии, как мне представляется, особый интерес представляют лишь некоторые из 10 логико-физических парадоксов (табл. 7.2), которые и определяют «правила игры» живой и неживой материи.

Таблица 7.2

**Десять логико-физических парадоксов и их
экологическая интерпретация**

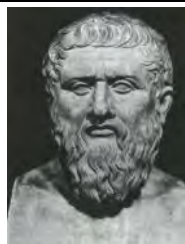
| Парадокс | Содержание парадокса | Экологическая интерпретация |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Платона и Сократа (парадокс «лжеца»), иногда этот парадокс приписывают Эпимениду или Эвбулиду | Платон говорит: «Следующее высказывание Сократа будет ложным»; Сократ отвечает: «То, что сказал Платон, – истина». Симметричная пара высказываний; чтобы преодолеть этот парадокс, необходимо ввести третье понятие (кроме «ложь» и «истина») – «неопределенность» (например, третий участник спора будет утверждать, что Платон чаще говорит неправду, чем Сократ). | Интерпретация, скорее, не экологическая, а системологическая. Парадокс «лжеца» в формальной логике не докажем и не опровержим. Разрешение этого парадокса приводит к обобщениям классической логики (тройственной, комплексной и пр.). Для системологии имеет место теорема о неполноте К. Гёделя [Подникс, 1981] (см. выше в этой главе раздел 2). |
| Зенона | Быстроногий Ахилл никогда не догонит черепаху, если в начале движения она находится впереди на некотором расстоянии от Ахиллеса. | Причина парадокса состоит в том, что <i>пространство и время в этом случае можно делить на любые малые интервалы без ограничения</i> ; иными словами, они дискретны. Этот парадокс напрямую связан с экологическими представлениями о «дискретности – непрерывности» экосистем. |

| 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|---|---|
| Демона Максвелла | Если допустить существование «демона Максвелла», то можно провести сортировку броуновских микро-частиц по скорости их движения, нагревая одну из частей общей емкости. Вопрос парадокса: <i>как формирование кинетики движения частиц разрушает парадокс «демона Максвелла»?</i> | Для содержательного описания открытых систем наибольший интерес представляет <i>кинетический подход</i> [Иваницкий, 2010], который позволяет сравнивать скорости процессов в живой и неживой материи. |
| Кота Шрёдингера | В закрытый ящик помещен кот. В ящике имеется механизм, реагирующий на прилет одной квантовой частицы и убивающий кота. Согласно квантовой механике, если ящик закрыт, то равновероятные состояния («кот жив» и «кот мертв») находятся в суперпозиции и являются смешанными. Открыв ящик, можно наблюдать только один вариант состояния: «механизм сработал, кот мертв» или «механизм не сработал, кот жив». Вопрос парадокса: <i>когда система перестает существовать как смешение двух состояний и выбирается одно (система становится необратимой)?</i> | Закон необратимости эволюции впервые четко сформулирован в 1893 г. бельгийским палеонтологом Л. Долло . В разработке проблемы необратимости эволюции четко выделяются три аспекта: вопрос о причине необратимости и факторах, делающих эволюцию необратимой; вопрос о пределе обратимости; поиски уровня, с которого эволюция, основывающаяся на обратимых в принципе мутациях, становится необратимой [Гатаринов, 1987, с. 91]. |
| Стохастического храповика | Этот парадокс Р. Фейнмана , по сути, тот же «демон Максвелла». В биофизике идея «храповика» – это путь поиска логически похожих (на часовой храповик) устройств в живых системах, позволяющих дать простое объяснение тому, что в них существует направленность развития. Вопрос парадокса: <i>может ли такая система совершать работу?</i> | В биологии вместо фейнмановского понятия «храповик» чаще используют понятие «память о прошлых состояниях». В экологии это требует наличия особой подсистемы, которая осуществляла бы «наблюдение» над самим сообществом, формируя его самоописание–самообраз, без которого невозможна была бы память о прошлых состояниях, определение настоящих, прогнозирование будущих – т. е., собственно, существование сообщества как такового. |

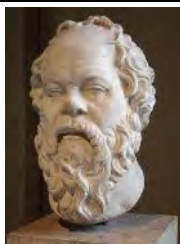
| 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|--|--|
| Дефицита времени | Суть парадокса: для возникновения и эволюции жизни (сборки целого) необходим полный перебор всех возможных комбинаций (элементов) при одном иерархическом уровне. Время выбора одного варианта сборки целого из N элементов приблизительно равно $\tau N^N \exp(-N)$, где τ – среднее время для отбора одного варианта сборки. Уже при $N \approx 100$ решить такую задачу за разумное время полным перебором невозможно. Вопрос парадокса: <i>так ли развивались (конструировались) живые системы из неживой природы?</i> | Этот парадокс разрешается следующим образом: следует заменить полный перебор всех возможных комбинаций на одном уровне перебором и отбором комбинаций внутри блоков с их иерархической упорядоченностью – <i>правило блочно-иерархического отбора</i> [Иваницкий и др., 1986]. При этом может быть сформулирована и оптимизационная задача: сколько должно быть уровней иерархии и поскольку элементов должно быть представлено на каждом уровне, чтобы «сборка целого» осуществилась за минимальное время [Рудерман, 1983]. |
| Гомохирального строения | Хиральность – понятие, характеризующее парность левых и правых объектов в Природе. Одновременная сборка полимеров из смеси молекул L- и D-формы невозможна. Вопрос парадокса: <i>каким образом в мире, который характеризуется симметричными процессами, могла появиться гомохиральность?</i> | «В условиях нелинейных реакций в сильнонеравновесных системах с критическим поведением нарушение устойчивости симметричного состояния может происходить почти спонтанно» [Иваницкий, 2010, с. 353]. Некоторые экологические проблемы, связанные с симметричностью, обсуждаются в главе 10, раздел 4. |
| Конфликта части и целого | В бестселлере Р. Докинза [Dawkins, 1976] генам приписывается роль самостоятельных субъектов эволюции, что обосновывается взаиморегуляцией в процессе влияния одного иерархического уровня на другой. Вопрос парадокса: <i>что важнее для развития жизни – предыдущий уровень иерархии или последующий, код или организм?</i> | Ошибки (мутации) при репликации кода в цепях ДНК или РНК (часть) могут привести к гибели организма (целое) с последующей гибелью и клетки с нарушенным кодом (например, раковые клетки). Таким образом, биологическая эволюция существует в двух обликах: в образе недолговечных организмов и в виде кода, более долговечного, но небезотказного, подверженно мутациям. Этот парадокс может стать еще одним объяснением «колоколовидного» распределения численности популяции по некоторому градиенту среды. |

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|--|
| <p>Санкт-Петербургский о разорении игрока</p> | <p>Парадокс был впервые описан Д. Бернулли в статье "Specimen theoriae novae de mensura sortis" в "Комментариях Санкт-Петербургской Академии" (1738 г.). Парадокс, иллюстрирующий расхождение математического ожидания выигрыша с его «здравой» оценкой людьми, состоит в следующем. Имеется игра, в которой монета подкидывается n раз до тех пор, пока не выпадет «орел»; затем выплачивается 2^n в степени n единиц денег. Парадоксально, но математическое ожидание выигрыша представляет собой бесконечно большую величину, хотя здравый смысл приводит к заключению, что справедливым вознаграждением за участие в игре должна быть ограниченная сумма. Вопрос парадокса: <i>если иметь «память» хотя бы на один раунд, то существует ли стратегия, приводящая к выигрышу путем увеличения «времени корреляции» (продолжительности самого раунда)?</i></p> | <p>Бернулли предположил, что парадокс может быть разрешен, если заменить математическое ожидание <i>моральным</i>, в котором вероятность умножается на <i>личную полезность</i>, а не на цены, выраженные в деньгах. Утверждая, что дополнительная полезность обратно пропорциональна текущей удаче (и прямо пропорциональна приросту удач), Бернулли пришел к заключению, что полезность является линейной функцией логарифма денежной цены, и показал, что в этом случае моральное ожидание от игры будет конечной величиной. Независимые вероятности (при бросании монеты) становятся зависимыми. Иными словами, асимметрия возникает не в результате подбрасывания монеты, а в результате изменения ставки в полосе выигрыша или проигрыша. При этом, объединение временных событий в случайный процесс, приводит к фракталоподобному строению таких объединений (см. выше "Фрактальный анализ динамики экосистем" в главе 5).</p> |
| <p>Бурданова осли (Buridan's ass)</p> | <p>Осёл, помещенный на равном расстоянии от двух одинаковых стогов сена, умрет голодной смертью. Вопрос парадокса: <i>как осуществить выбор между двумя равнозначными возможностями?</i></p> | <p>В известной степени, обсуждение этого парадокса может дать ответ на вопрос о том, как могло возникнуть разнообразие существовавших и существующих видов живых организмов.</p> |

Примечание. На следующей странице представлена «картинная галерея к табл. 7.2.



Платон
(др.-греч. Πλάτων;
428 или 427 до н. э. –
348 или 347 до н. э.) –
древнегреческий
философ.



Сократ
(др.-греч. Σωκράτης;
ок. 469 до н. э. –
399 до н. э.) –
древнегреческий
философ.



Эпименид
([Епименид]
Επιμενίδης;
VII-VI век до н. э.) –
древнегреческий
философ, жрец,
поэт, прорицатель.



Эвбулид
(из Милета;
[Евбулид],
Εὐβουλίδης,
Eubulides;
IV век до н. э.) –
древнегреческий
философ-идеалист.



Зенон Элейский
(др.-греч. Ζήνων
ὁ Ἐλεάτης;
ок. 490 до н. э. –
ок. 430 до н. э.) –
древнегреческий
философ.



Ахилл – Брэд Питт
(William Bradley «Brad»
Pitt) в фильме "Троя".

Ахилл
(др.-греч. Ἀχιλλεύς;
Ахиллеус или
Ахиллес,
лат. Achilles) – герой
древнегреческих
мифов.



**Максвелл Джеймс
Клерк [Кларк]**
(James Clerk Maxwell;
1831-1879) –
британский физик.



Долло Луи
(Louis Dollo;
1857-1931) –
бельгийский
палеонтолог.



Фейнман Ричард
([Файнман]; Richard Phillips
Feynman; 1918-1988) –
американский физик;
лауреат Нобелевской
премии (1965 г.).



Бернулли Даниил
(Daniel Bernoulli;
1700-1782) – швейцарский
физик, математик, академик
Петербургской
Академии наук.



Буридан Жан
(фр. Jean Buridan,
лат. Joannes Buridanus;
ок. 1300 – ок. 1358) –
французский
философ, логик.

Немного добавлю комментариев к некоторым из парадоксов, т. к. форма таблицы не позволяет высказаться достаточно полно. Парадокс «лжеца», как уже отмечалось, не разрешим в двоичной логике; **А. Тарский** [1948, 1972] «рационализировал» классическую концепцию теории истины, показав, что истина является таковой лишь в случае тавтологии (тождества):



Тарский Альфред
(Альфред Тайтельбаум; Alfred Tarski; 1902-1983) – польский, американский математик, логик, философ.

«"P" – истинно, если и только если P» (он доказал утверждение о неопределимости истины в системах, содержащих арифметику натуральных чисел). Иными словами, например, если мы поновому определяем «систему», то наше определение в нашем же представлении «обогащает» саму эту систему (мы же – ого-го!) и системологию. Однако непротиворечивость новой теории не может быть доказана средствами самой этой теории (теорема Гёделя), что и создает парадоксальность ситуации, которая не может быть разрешена.

Теперь несколько слов о парадоксе «кота Шрёдингера». Проблемы границ необратимости эволюции подробно были рассмотрены **Л.П. Татариновым** [1987]; необратимость эволюции не может считаться следствием неповторимости особей – это различные, хотя и тесно связанные аспекты проблемы.

«И вид и популяция реально существуют во времени, несмотря на непрерывно происходящую смену поколений и неповторимость составляющих отдельные поколения особей. Обычную смену поколений никто не считает изменением вида в эволюционном отношении. Поэтому невозможность повторения отдельных особей сама по себе еще не означает необратимости вида... Закон необратимости эволюции вообще не следует прилагать к отдельным особям, поскольку наименьшей эволюционирующей единицей является не особь, а популяция... Обратимость эволюции на популяционном уровне в значительной мере основывается на флуктуациях в направлении отбора; поглощающее скрещивание между особями из разных популяций является лишь одним из механизмов обратимости микроэволюционных процессов» [Татаринов, 1987, с. 94].



Татаринов Леонид Петрович
(1926-2011) – отечественный зоолог, палеонтолог, академик АН СССР и РАН.

Поэтому невозможность повторения отдельных особей сама по себе еще не означает необратимости вида... Закон необратимости эволюции вообще не следует прилагать к отдельным особям, поскольку наименьшей эволюционирующей единицей является не особь, а популяция... Обратимость эволюции на популяционном уровне в значительной мере основывается на флуктуациях в направлении отбора; поглощающее скрещивание между особями из разных популяций является лишь одним из механизмов обратимости микроэволюционных процессов» [Татаринов, 1987, с. 94].

Так уж сложилось исторически, что кинетический подход в экологии (строится система уравнений, каждое из которых описывает закономерность изменения во времени концентрации одного из видов в экосистеме в зависимости от концентраций всех других видов и некоторых факторов воздействия) давно стал одним из основополагающих (пример – классические модели

конкуренции и системы «хищник–жертва»). Таким образом, парадокс «демона Максвелла» разрешается путем «расширения термодинамических критериев» – согласно термодинамике, любая экосистема упорядочена не больше, чем кусок породы того же веса, а их различие «заключается в кинетике и способности запоминать удачные обстоятельства структурирования» [Иваницкий, 2010, с. 345]. Фактически, ответ на вопрос «как из случайности может родиться упорядоченность?», тесно связан с Санкт-Петербургским парадоксом и парадоксом «Буриданова осла».

Наконец, несколько слов о «памяти прошлых состояний» (парадокс стохастического храповика). В современном обществе «память» накапливают библиотеки, архивы, музеи, в Интернете – Википедия, системную память прошлых эпох хранят современная наука, культура, искусство, традиции, религии и пр., цепочка ДНК хранит память о предыдущих поколениях... Так как экосистема – сложная система с целесообразным поведением (по определению в главе 1, раздел 2), то она также должна обладать «памятью прошлых состояний». А вот кто является «носителем хранения памяти» в экосистеме (и есть ли такой вообще), – не простой вопрос (процесс хранения можно представить как преобразование информации экосистемой, но где оно происходит?..).

Завершая свою статью, Г.Р. Иваницкий [2010, с. 367], как и А.М. Молчанов (глава 7, раздел 3) «раздает» эпитафии: «на надгробном камне одних исчезнувших видов следовало бы написать: *"Они были косными и не могли противостоять изменениям своего окружения"*. На другом камне эпитафия гласила бы: *"Они не научились запоминать и не испытывали тяги к объединению, потому что вели себя хаотично"*».

6. Некоторые выводы

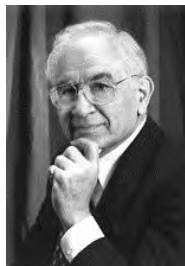
«Анализ современного состояния системно-кибернетических наук приводит к мнению, что сейчас и в недалеком будущем, видимо, придется смириться с сосуществованием двух противоположных типов методологии науки: физического и системологического, причем с преобладанием первого» [Флейшман, 1986, с. 109-110].

Аналог трех основных методологических подходов (аксиоматического, физического и системного) к построению *теоретической экологии* позволяет предположить, что структура теоретической экологии должна содержать все элементы структуры физических теорий («основание», «ядро», «вершина», «интерпретация»), однако, «ядро» этой теории (в первую очередь, система законов) должно быть построено в рамках системного подхода на основе единообразных моделей (например, моделей потенциальной эффективности целостных характеристик сложных экосистем). Рассматривая с этих позиций дискуссию о фундаментальных понятиях и выборе идеализированного объекта экологии (например, «сообщество», «экосистема», «биогеоценоз» и пр.), подчеркну тот важный факт (который дискутирующие стороны зачастую не

принимают во внимание), что и фундаментальные понятия, и идеализированные объекты представляют интерес не сами по себе, а лишь в методологических рамках всей теории, т. е. их выбор в значительной степени должен диктоваться общей структурой теоретического построения.

Завершу этот раздел аж четырьмя цитатами:

- **Т. Саати** [1963, с. 11]: «Исследование операций (*читай – принципы создания экологической теории.* – Г.Р.) представляет собой искусство давать плохие ответы на те практические вопросы, на которые даются еще худшие ответы другими способами»;
- **Н. Рашевски** [1966, с. 14, 165]: «Теперь мы делим теории не на правильные или неправильные, а на плохие и хорошие, справедливые и несправедливые... Хорошая теория в некоторых отношениях может терять связь с реальностью... Любая совокупность физических законов справедлива лишь для ограниченного диапазона явлений, который, однако, может быть очень широким»;
- **К. Поппер** [1983, с. 97]: «Научные теории постоянно изменяются... Может быть, именно этот факт объясняет, почему, как правило, лишь *отдельные ветви* науки – и то только временно – приобретают форму развитых и логически разработанных систем теорий» (*выделено автором.* – Г.Р.).
- **Л. Бриллюэн** [1972, с. 16, 17]: «И здесь время задать самый важный вопрос: "В какой степени мы можем доверять научным теориям?" (*выделено автором.* – Г.Р.). Ответ должен быть достаточно осторожным: "В высокой, но не слишком высокой!" Для всех теорий существуют ограничения, все они "хороши" до определенной степени и в определенных границах. Они не представляют собой "правду и только правду...". Всякая теория основывается на тщательно проведенных экспериментах, однако их результаты могут быть получены только "с точностью до возможных ошибок", т. е. ошибки заключены в определенных пределах... Научная истина никогда не должна восприниматься фанатично, любой ученый должен быть готов к тому, чтобы исправлять и дополнять свои любимые теории. В науке не существует абсолютной истины».



Саати Томас
(Thomas L. Saaty;
г.р. 1926) –
американский
математик.



Рашевски Николас
(Nicolas Rashevsky;
1899-1972) – отечественный,
американский
биофизик, математик.



Бриллюэн Леон Никола
(Leon Nicolas Brillouin;
1889-1969) –
французский,
американский физик.

Глава 8

ПРИМЕРЫ НЕКОТОРЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ В ЭКОЛОГИИ

Говорят, один знаменитый художник рассматривал петуха. Рассматривал, рассматривал и пришел к убеждению, что петуха не существует. Художник сказал об этом своему приятелю, а приятель давай смеяться. Как же, говорит, не существует, когда, говорит, он вот тут стоит, и я, говорит, его отчетливо наблюдаю. А великий художник опустил тогда голову, и как стоял, так и сел на груды кирпичей.

**Даниил Хармс,
«О явлениях и существованиях. № 1»,
18 сентября, 1934 г.
(Хармс, 1988, с. 316).**

Как уже отмечалось ранее [Розенберг, 1999б, 2003а], в процессе познания окружающего мира любая научная дисциплина проходит три основных этапа своего развития: *описательный* (можно сказать – инвентаризационный), *концептуально-теоретический* (при котором происходит выдвижение всякого рода представлений о структуре и характере функционирования исследуемых систем) и этап *математизации* этих представлений (т. е. их формализация на наиболее точном и строгом на сегодняшний день языке математики). Фитоценология с этой точки зрения – не исключение: каждый фитоценолог желает знать, какие растительные сообщества его окружают, сколько их, как они устроены и функционируют, как они ограничены в пространстве, каковы пути конструирования искусственных растительных экосистем с заданными свойствами, как управлять их продуктивностью с максимальной выгодой и т. д. Из перечисленных трех этапов развития фитоценологии как научной дисциплины [Миркин, Наумова, 1998] можно считать, что первый – инвентаризационный – в основном завершен (правда, это слишком сильное утверждение, так как количество растительных сообществ огромно, и можно говорить лишь об относительной изученности), второй – концептуально-теоретический – находится в стадии расцвета, а вот третий – формально-теоретический – только переживает свое становление. Цель настоящего раздела состоит в рассмотрении некоторых представлений второго этапа (на

базе аксиоматического, физического, кибернетического и системного подходов [Розенберг, 2003а, 2005а, 2006]) как основы для осуществления третьего и построения собственно теоретической фитоценологии – биологической дисциплины, изучающей формализации закономерностей структуры и функционирования растительных сообществ.

1. Теория по П. Юхачу-Наги

Теоретические построения венгерского геоботаника **П. Юхача-Наги** [Juhasz-Nagy, 1966a,b, 1968] у нас в стране пропагандировались, в основном, в работах **Б.И. Сёмкина** и **В.И. Василевича** (правда, они практически не комментировались, и подчеркивался лишь сам факт построения аксиоматической теории, что следует из названия второй статьи [Juhasz-Nagy, 1966b]). Учитывая, что исследования Юхача-Наги являются пока единственным опытом введения аксиоматики в экологию (фитоценологию; или, по крайней мере, выглядят как такой опыт), обсужу их более подробно.



Фундаментом теоретического построения Юхача-Наги является метаметодологическая четверка $\langle BR, BF, BH, BP \rangle$, где BR (basic reference) – основное отношение (включает всевозможные подмножества популяций растений, пространства и времени), BF (basic fact) – основной факт, состоящий в утверждении, что поведение популяций растений в природе не случайно, BH (basic hypothesis) – основная гипотеза, состоящая в том, что всевозможные комбинации популяций растений равновероятны (иными словами, популяции растений не зависят друг от друга, что, естественно, неверно и потому BH – ложна), BP (basic problem) – основная проблема, состоящая в исследовании, почему ложна BH. Иными словами, описывается традиционный путь любого исследования: имеется эмпирический базис (BR), некоторое наблюдаемое

явление (BF), выдвигается гипотеза о механизме этого явления (BH) и основной проблемой становится её проверка (BP).

В первой части исследования [Juhász-Nagy, 1966a] проведен критический анализ терминологии синботаники (под этим термином понимается наука о естественном поведении популяций растений, объединяющая элементы синэкологии растений и геоботаники, хотя критику Юхача-Наги этих последних понятий сегодня уже нельзя считать обоснованной). Широкий круг задач синботаники, наличие большого числа научных школ и стилей работы уже тогда сделали необходимым развитие теоретических представлений. Как указывает Юхач-Наги, число работ, в которых использованы термины «экологическая среда», «экологический фактор», находится где-то между 10^2 и 10^3 (включая публикации прикладной синботаники и не забывая, что это – середина 60-х годов) и едва ли наберется дюжина работ, где дан достаточно корректный теоретический анализ этих понятий. Следует подчеркнуть, что и сегодня, почти через сорок лет, здесь не видно большого прогресса.

Основными путями развития теоретических исследований в синботанике Юхач-Наги считает необходимость трактовки синботанических проблем в рамках общебиологических задач, осмысление теоретических проблем синботаники внутри нее самой и создания мощной методологии, понимаемой именно в широком плане как метаметодологии, теории методов, а не как набор существующих сейчас методик обработки экспериментальных синботанических данных. При этом подчеркивается, что «концептуальная неуверенность синботаники» практически не изменилась к лучшему с введением и широким внедрением статистических методов обработки, т. е. под «математической моделью» в синботанике все еще понималась «рабочая статистическая модель», что явно недостаточно (замечу, что и сегодня, подобное понимание «модели» и «моделирования» в экологии продолжает играть большую роль). На основе этих рассуждений Юхач-Наги приходит к необходимости создания других, не статистических моделей, взяв в качестве прообраза аксиоматического построения математическую логику, теорию множеств и теорию вероятностей. Правда, в последнем случае он сам с собой вступает в противоречие – ведь выше был постулирован основной факт (BF) о не случайности поведения популяций растений в природе и потому для его исследования наука о случайности не выглядит адекватной.

Тем не менее, во второй части исследования [Juhász-Nagy, 1966b] рассматриваются основные положения теории множеств, математической логики и теории вероятностей, которые используются для формализации теории растительных сообществ. Подчеркну, что в этой части тоже отсутствуют собственно аксиомы синботаники; это, фактически, уже ставшая традиционной, попытка переноса представлений одной науки на другую. По-видимому, ни-

чего страшного нет в том, что термин «описание» будет заменен на «множество». Более того, подобное «введение» результатов теории множеств в синботанику может способствовать объективизации, например, конструирования показателей сходства (именно так поступает Б.И. Сёмкин [1972]). Однако вряд ли стоит ожидать, что подобный путь аксиоматизации без учета специфических особенностей синботаники, окажется плодотворным в самом широком смысле (ведь проблема оценки сходства не является сугубо экологической проблемой – скорее, это проблема именно теории множеств).

Наконец, в третьей статье серии [Juhasz-Nagy, 1968] рассматривается общая формальная методология (general formal methodology, GFM). Один из путей построения GFM видится Юхачем-Наги в адаптации к синботанике идей, терминологии и результатов теории игр и теории решений – тогда любая исследовательская деятельность будет представлять собой оптимальную игру против природы со стратегией, обеспечивающей максимум информации и минимум риска ошибиться. Однако этот путь признается неосуществимым из-за высокой степени эмпиричности синботаники.

Поэтому предлагается другой путь. Метаметодологическая четверка в приложении к синботанике превращается в методологическую четверку $\langle SR, SF, SH, SP \rangle$, где символ B (basic) заменяется на S (special). Здесь специальная проблема SP может рассматриваться и как экстенсивная (целью изучения являются сами сообщества и их связи со средой), и как интенсивная (в этом случае SP – гипотетические тест-объекты и целью исследования является вскрытие их механизма функционирования). Далее автор строго определяет такие понятия, как «методологическая программа», «семейство методологических программ», выделяет два типа методологических программ (конструктивный и аналитический; целью конструктивных методологических программ является получение некоторых новых, неизвестных пока фактов, аналитических – анализ существующих природных феноменов).

Каждая методологическая программа (говоря проще, научное исследование) распадается на ряд процедур: справочная, праксиологическая, переводная, математическая и методологическая. Каждой процедуре ставится в соответствие свой объект (элементарная единица) и своя структура этих объектов. Так, в теории вероятностей математической единицей является элементарное событие, а структурой – пространство элементарных событий. Построение модели является примером переводной процедуры (фактически, природное явление «переводится» на язык математики в терминах соответствующих элементарных единиц и их структур). Кстати, переводная процедура не обязательно связана с математикой – возможен перевод явлений по аналогии (см., например, [Ю. Кулагин, 1982] и выше раздел 6 главы 1). Праксиоло-

гическая составляющая исследования связана с планированием экспериментов и «добыванием» экспериментальной информации.

Все эти общие рассуждения Юхач-Наги иллюстрирует примерами из синботаники. Так, он считает, что теория синботаники задается теоремами (типа *законов Гаузе*), концепциями (например, дискретностью [«организмизмом»] и непрерывностью [«континуум»]) и т. д. Метаметодологией по отношению к синботанике выступает теоретическая биология, праксиология соотносится с методами исследования растительности. В частности, анализ мозаичности [Грейг-Смит, 1967] может рассматриваться как специальный случай основного факта (т. е. SF), гипотеза о пуассоновском характере распределения особей – специальная гипотеза (SH), взаимоотношения особей популяции задают структуру системы (SR) и сам математический метод проверки соответствия гипотезы задает специальную проблему (SP).

Представляют интерес и заключительные рассуждения Юхача-Наги о соотношении *операциональности* (operational) и *операцивизма* (operative) в определениях основных понятий и концепций синботаники. Понимание Юхачем-Наги «операциональности» достаточно традиционно – это определение понятий не в терминах свойств, а в терминах операций опыта (см., например, [Горский, 1971]). Так, определение «растительности» как совокупности фитоценозов и группировок растений – неоперационально, а вот определение «растительности» через видовой состав, его обилие и матрицу экологических связей видов переводит это понятие в ранг операциональных (в рамках такого определения можно измерить растительность любого района). Операциональность основных понятий синботаники у Юхача-Наги – это лишь благое пожелание; фактически, ни одно определение в «его синботанике» не является операциональным, что связано как с объективной сложностью фитоценологических систем, так и с субъективной недоработанностью понятийного аппарата синботаники.

В качестве компромиссного решения в этой ситуации предлагаются упрощенные требования точности определения понятий, которые автор называет «операцивизмом». В его основе лежат пять утверждений [Juhász-Nagy, 1968, p. 75]:

- определение может быть полезным, даже если оно не операционально;
- невозможно *a priori* решить вопрос о том, какое определение «хорошее», а какое «плохое»;



**Гаузе
Георгий
Францевич**
(1910-1986) –
отечественный
микробиолог,
эколог.

- ценность понятия зависит от его роли и места в рамках некоторой методологической программы (т. е. можно говорить об относительной ценности понятия);
- определение операцивизионно (вне зависимости от того, операционально оно или нет), если оно имеет собственное место и роль в методологической программе с оговоркой,
- что его формулировка не двусмысленна и не «анти-методологична».

Таким образом, операцивизм отражает прагматическую точку зрения на четкое определение основных понятий синботаники.

Юхач-Наги иллюстрирует свой подход к уточнению понятий синботаники на примере определения «местообитания». Однако еще более наглядно это можно проследить в аналогичных определениях **Ю. Одума** [1986]. Местообитание организма – это место, где он живет, или место где его обычно можно найти (местообитание – среда жизни фитоценоза; [Миркин и др., 1989]). Ясно, что такое определение неоперационально, хотя сам термин «местообитание» широко используется не только в фитоценологии и экологии, но и в других областях



Одум Юджин
(Eugene Pleasants Odum;
1913-2002) –
американский
эколог.



Хатчинсон Джордж
(George Evelyn
Hutchinson;
1903-1991) – британский,
американский лимнолог,
гидробиолог, эколог.

науки (при этом описание местообитания включает помимо абиотической среды и другие организмы; [Миркин и др., 1989]).

Другое, родственное понятие – «экологическая ниша» – также достаточно расплывчато и трудно выражается количественно (на это указывает и сам Одум [1986, т. 2, с. 20]), кроме многомерной или гиперпространственной ниши **Дж. Хатчинсона**, которая и выступает в качестве операцивизионного определения. Характер конкретного исследования (собственно, методологическая программа) задает размерность гиперпространства и позволяет оперировать многомерной нишей математически (перекрытие экологических ниш, «плотная упаковка» и пр.). Таким образом, концепция многомерной ниши «оказывается наиболее полезной для количественных оценок различий между видами... по одному или немногим основным (т. е. операционально-значимым) признакам» [Одум, 1986, т. 2, с. 119].

Давая оценку теоретическим исследованиям П. Юхача-Наги можно констатировать, что данная серия работ лишь в самой малой степени соответствует аксиоматическому подходу к построению теории в фитоценологии.

Скорее, это философское (методологическое) осмысление основных проблем фитоценологии с пожеланием придать больше точности понятийному аппарату либо через привлечение строгих математических дисциплин (теория вероятностей, теория множеств), либо через операциональность определений с явно выраженной прагматической направленностью.

2. Теория по Крису Г. Ван Лиувену

Пример «кибернетического» подхода к созданию экологической (фитоценологической) теории дает статья **К. Ван Лиувена**¹ [Leeuwen, 1966; Vries, 2007] из Института по исследованию проблем охраны природы в Зейсте (Нидерланды). Автор предпринял попытку интерпретировать в геоботанических терминах структуры и динамики растительности «теорию отношений», взяв за основу три фундаментальных отношения: равенства, неравенства и связи. Он вводит следующие сокращения-обозначения:

$$a(s), \hat{a}(s), a(t), \hat{a}(t).$$

Здесь s и t – характеристики пространства и времени, \hat{a} и a – обозначают, соответственно, отсутствие и наличие разнообразия. Неравенство в пространстве задает структуру сообщества, а неравенство во времени – динамику. Тогда, первое отношение равенства записывается:

$$a(s) = \hat{a}(s), \quad a(t) = \hat{a}(t);$$

второе отношение неравенства представляет собой запись ортогональной независимости:

$$a \oplus \hat{a},$$

где знак \oplus указывает на необходимость «поворота на 90^0 » для достижения равенства; наконец третье отношение задается связями в следующем виде:

$$\hat{a}(s) \Leftrightarrow a(t) \tag{1}$$

$$a(s) \Leftrightarrow \hat{a}(t). \tag{2}$$

Здесь \Leftrightarrow задают связи временной и пространственной структур; при этом различаются связи согласования (connection; тогда отношение открыто) и разделения (separation; отношение закрыто). Из этих соотношений Ван Лиувен «выстраивает» и интерпретирует различные ситуации, возникающие не только при описании растительности, но и в экологии в целом и даже в охране природы. Так [Leeuwen, 1966, p. 33],

¹ **Ван Лиувен Крис Г.** (Chris G. van Leeuwen; 1920-2005) – нидерландский ботаник, эколог.

малое число видов в сообществе \Leftrightarrow
 «рискованные» условия среды
 [например, сообщества *Salicornia* – (1)],

богатство видов в сообществе \Leftrightarrow стабильность
 [например, коралловые рифы – (2)],

постоянство \Leftrightarrow отгалкивание
 [монотонное «пение» самцов саранчи
 отгалкивает конкурентов – (2)],

притяжение \Leftrightarrow разнообразие
 [напротив, «песни ухаживания» самцов саранчи разнообразны, что привлекает самок – (1)],

защита природы \Leftrightarrow консервация природы – (2).

Основной вывод из этого состоит в том, что «постоянство в пространстве и во времени, как и изменчивость, взаимосвязаны и не могут трактоваться друг без друга» [Leeuwen, 1966, p. 34], что подтверждает закон *необходимого разнообразия У.Р. Эшби* – «разнообразие можно уничтожить только разнообразием». В этом контексте особую важность приобретает формула (2), выражающая связь между разнообразием по пространству и стабильностью во времени.



Автор подчеркивает и возникающий при этом, как он называет, «основной парадокс», который хорошо иллюстрируется следующим примером: высокая степень вертикальной дифференциации (например, в почвенном профиле или ярусность в лесу – $a(s)$) могут «сосуществовать» с высокой степенью пространственной однородности почв и сообществ (ситуация $\hat{a}(s)$). В известной степени, этот «парадокс» хорошо укладывается в схему первого отношения равенства (см. выше), что лишает его ореола парадоксальности.

Следующий раздел работы Ван Лиувена назван "Концентрация и дисперсия в пространстве и времени". Здесь «концентрация» и «дисперсия» рассматриваются как два антагонистических процесса, полностью описывающих все наблюдаемые в природе явления. В этих терминах автор делает попытку описать соотношение устойчивости и мозаичности сообществ. Например, присутствие в природе («концентрация») только одного вида на большой площади не устойчиво во времени (по словам автора – «довольно невероятная ситуация»). С другой стороны, высокое разнообразие сообщества («дис-

персия») регулируется во времени (например, сезонная флористическая изменчивость), что создает картину большей устойчивости сообщества в целом.

С этих же позиций решается и вопрос о границах между сообществами, бывший весьма актуальным в фитоценологии конца 60-х годов. Автор различает границы сходящиеся (convergent – родственные к пространственной «концентрации») и расходящиеся (divergent – к «дисперсии»). Первому типу границ («все или ничего») ставятся в соответствие зоны экотонов, второму («более или менее») – экоклин в понимании **Э. Ван-дер-Мареля** и **В. Вестгофа** [Maarel, Westhoff, 1963]. Примером границ первого типа являются сообщества класса *Plantaginetea maioris* Tx. et Prsg. 1950. Сообщества этого класса по условиям среды кажутся различными, однако общим для них является режим нарушений, который и создает существенную дискретность границ сообществ. Второй тип границ описывается другим набором видов (например, [Leeuwen, 1966, p. 38]: *Botrychium lunaria*, *Silene nutans*, *Dianthus superbus*, *D. armeria*, *Hypericum pulchrum*, *Pinguicula vulgaris*, *Genista tinctoria*, *Lathyrus montanus*, *L. nissolia*, *Trifolium medium*, *Agrimonia eupatoria*, *Polygonatum odoratum*, *Carex dioica*, *C. pulicaris*, *C. hosteana* и др.), который представляется внутренне стабильным на протяжении десятков лет.

Проведенный Ван Лиуvenом анализ позволил сформулировать *закон необходимой неустойчивости* [Leeuwen, 1966, p. 40-41]: каждый вид растений обладает собственной траекторией и степенью неустойчивости, эффективно регулирующей процессы прорастания, развития и функционирования. Фактически, на «кибернетическом языке» Ван Лиуven изложил индивидуалистическую гипотезу **Л.Г. Раменского** и основные варианты представлений о диагностических видах, используемых в системе классификации растительности **Браун-Бланке** (см., например, [Уиттекер, 1980, с. 144] и [Миркин, 1985, с. 112]).



Ван-дер-Марель Эдди (Eddy van der Maarel; г.р. 1934) – нидерландский фитоценолог, эколог.



Вестгоф Виктор (Victor Westhoff; 1916-2001) – нидерландский фитоценолог.



Раменский Леонтий Григорьевич (1884-1953) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог.



Браун-Бланке Жозья (Josias Braun-Blanquet; 1884-1980) – швейцарский, французский ботаник, фитоценолог, эколог.

Резюмируя это теоретическое исследование можно констатировать, что «сухой осадок» от него не очень велик («охрана природы и пространственная дифференциация идут рука об руку» [Leeuwen, 1966, p. 46]), что и следовало ожидать при простом переносе терминологии одной области знания (в данном случае, кибернетики) на другую (фитоценологию). В контексте статьи Ван Лиувена «теория отношений» оборачивается интерпретацией фитоценологических и экологических феноменов на языке отношений равенства, неравенства и связи [Vries, 2007]. И здесь следует согласиться с достаточно жесткой оценкой этой работы, данной В.И. Василевичем [Василевич, 1983, с. 8]: «Введение таких сложных, но не определенных строго понятий, оставляет возможность их самого разного понимания, а в результате остается лишь жонглирование словами... Да и сам набор понятий, очевидно, плохо отражает существенные, с точки зрения выводимых отношений, свойства растительных группировок».

3. Теория по В.И. Василевичу

В.И. Василевич [1983, с. 3] определяет теоретическую фитоценологию «как раздел фитоценологии, который изучает основные признаки и закономерности строения и организации фитоценологических систем. Теоретическая фитоценология рассматривает свои объекты как однородный класс. Её задачи состоят, прежде всего, в том, чтобы найти, чем отличаются фитоценологические объекты от других классов объектов». Такая постановка вопроса предполагает выбор системного подхода в качестве методологического фундамента при создании теории строения и функционирования растительных сообществ. И автор последовательно проводит этот подход, посвящая отдельные главы книги рассмотрению таких системных параметров, как целостность, организованность, стабильность фитоценологических систем.

Понятие «системы» в системологии сложилось еще не до конца и многие авторы в его трактовке вводят в определение свои критерии (см., например, обзор **А.И. Уёмова** [1978]). Аналогично поступает и Василевич [1983, с. 20], давая следующее определение системы: *система – это такая совокупность элементов, которая связана внутри себя отношениями, окружающими существенные свойства элементов, гораздо более сильными между элементами данной системы, чем отношения с элементами, не входящими в нее, или с другими системами.* В этом определении «системы» основной упор сделан на тесноту отношений (связей)



**Уёмов
Авенир
Иванович**
(1928-2012) –
советский,
украинский
философ,
системолог.

между элементами внутри системы, что, по мнению Василевича, должно помочь в решении вопроса о границах системы. Хотя автор и не дает четких указаний на то, какие из отношений считать более сильными, можно допустить, что для дискретных систем (или систем, в которых дискретная составляющая превалирует над непрерывной) на основе этого определения можно проводить границы.

Однако это определение не является полным и в класс однотипных систем могут попасть значительно различающиеся объекты. Еще раз напомним простой пример [Урманцев, 1974, с. 60; см. выше главу 1, раздел 1] и тот факт, что кроме элементов и связей между ними, он вводит в определение «системы» представления о законах композиции.

С позиций системного подхода Василевич анализирует такие характеристики фитоценологических объектов как целостность, организованность, стабильность. Тривиальность большей части выводов этих глав (невысокий уровень целостности растительных сообществ, организующая роль факторов среды, стохастическая детерминированность процессов в фитоценозах), оправдана подробной вербальной интерпретацией на «геоботаническом языке» различных признаков этих системных параметров; замечу, что аналогичный анализ был проведен несколько ранее [Миркин, Розенберг, 1978а,б] для тех же целостных системных характеристик на фоне эволюционного развития фитоценологических систем. Думается, что подобный анализ приносит определенную пользу (хотя бы для уточнения области применения системного подхода в фитоценологии). Однако трудно согласиться с Василевичем в ряде конкретных его трактовок тех или иных аспектов проявления системных параметров в растительных сообществах.

Прежде всего, это касается вопросов организованности фитоценологических систем. Предлагается следующий критерий оценки функциональной организованности: отношения между особями разных видов тем более упорядочены (организованы), чем определеннее исход этих отношений и на его основе делается вывод о том, что «хорошая организация приводит к формированию одновидовых или мало видовых сообществ» [Василевич, 1983, с. 131]. Не совсем ясно, почему же организация тем лучше, чем она проще? Только потому, что она нам более понятна? Но как тогда быть с хорошо организованным производством, например, огромного комплекса ВАЗа по сравнению с отдельными кустарными мастерскими? Определенность исхода взаимоотношений между видами, по-видимому, может служить оценкой одного из проявлений устойчивости фитоценологических объектов, но не их организованности (кстати, Василевич на следующей строке после приведенной цитаты говорит именно об устойчивости многовидового сообщества при плохой организации межвидовых отношений).

Наиболее полный анализ организованности фитоценозов, проведенный **Т.А. Работновым** [1983, с. 109-195] по признакам раздела пространства экологических ниш, типов эколого-ценотических стратегий, пространственной и вертикальной дифференциации, временной изменчивости компонентов



**Работнов
Тихон
Александрович**
(1904-2000) –
отечественный
ботаник,
фитоценолог,
популяционный
эколог.

растительных сообществ, как раз наоборот позволяет прийти к выводу о том, что «благодаря длительности периода отбора видов создались фитоценозы с достаточно устойчивой организацией, что проявляется в образовании в сходных условиях на больших площадях фитоценозов, имеющих сходный состав и

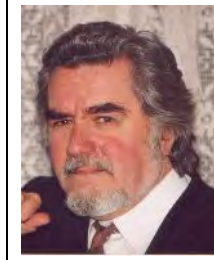
структуру и способных восстанавливаться после нарушения» [Работнов, 1983, с. 109]. Работнов в качестве одного из признаков организованности называет замкнутость; по этому признаку, например, организованность многовидовой травосмеси (костер + овсяница + люцерна) против чистого посева каждого вида должна оцениваться очень высоко – средняя засоренность травосмеси за четыре года около 3%, а чистых посевов, соответственно, 10, 16, и 7% [Миркин и др., 1986], что достигается за счет дифференциации пространства экологических ниш и на этой основе более эффективного использования ресурсов среды. Поэтому нельзя считать монодоминирование результатом общей стратегии фитоценотических систем на отбор наиболее сильного вида за счет исключения более слабого и стабилизации эдафотопы. Принятие этой гипотезы автоматически должно повлечь и принятие концепции дискретности растительности покрова, т. к. малое число эдификаторов (сильных – бореальные леса, слабых – сообщества тундры), способных нивелировать различия среды и подбирать соответствующих спутников-эдификаторофилов, при известной стабильности климатопы и дает картину превалирования дискретности над непрерывностью растительного покрова. Совсем другая ситуация наблюдается при наличии большего числа эдификаторов (сильных – тропические леса, слабых – луговые сообщества), когда происходит «сближение» экологических ниш видов, что приводит к континуальным изменениям растительного покрова. Более сложное поведение последних сообществ при изменениях экотопа и в ходе разногодичных флуктуаций не позволяет судить о них как о менее организованных по сравнению с мало видовыми фитоценотическими системами.

Еще одно возражение вызывает утверждение Василевича о том, «что самоорганизующиеся системы не имеют ничего общего с принципами организации фитоценотических и вообще экологических систем» [1983, с. 124]. **Л.А. Растрин** указывает, что самоорганизация может происходить только

случайно в виде некоторых флуктуаций данной системы за счет дезорганизации других взаимодействующих с ней систем (в соответствии со вторым началом термодинамики [Растригин, Марков, 1976, с. 198]). При этом необходимо выполнение трех условий, позволяющих говорить о самоорганизации системы:

- наличие исходной организации,
- механизмов случайных мутаций этой организации и
- механизмов отбора, благодаря которым мутации оцениваются и закрепляются.

Нет сомнений в том, что фитоценотические объекты «живут» в соответствии с законами термодинамики и находятся под воздействием большого числа случайных факторов. Отсюда следует, что имеется «среда» для самоорганизации растительных сообществ. Нетрудно убедиться и в выполнении трех основных условий самоорганизации по Растригину. Любой фактор в случайный момент времени может вызвать мутацию «текущего» фитоценоза (например, элиминировать или добавить некоторый вид), что приведет к возникновению иного растительного сообщества. В ходе эволюции фитоценотических систем по **Р. Уиттекеру** [1980, с. 324] происходит увеличение видового разнообразия (добавление видов, отличающихся от других по нише и местообитанию), адаптация к окружающей среде структуры и функции сообщества, развитие и формирование разных уровней устойчивости сообщества, наблюдается «сеткообразный» характер эволюции, в ходе которой виды различным образом комбинируются и рекомбинируются в сообществе, и развитие специфического типа организации для поддержания или гармоничных изменений сообщества в процессе роста. Отсюда следует, что фитоценотические системы являются самоорганизующимися и к ним можно применять соответствующий аппарат анализа.



**Растригин
Леонард
Андреевич**
(1929-1998) –
советский,
латышский
математик,
кибернетик.



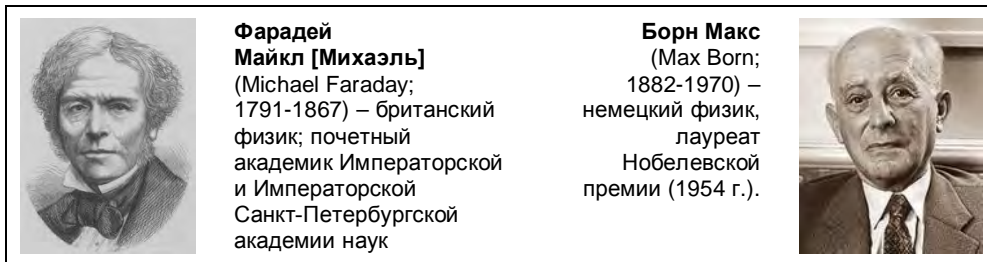
Уиттекер Роберт
(Robert Harding
Whittaker;
1920-1980) –
американский
эколог, ботаник,
фитоценолог.

**Лефевр
Владимир
Александрович**
(г.р. 1936) –
отечественный,
американский
психолог,
кибернетик.



В.И. Василевич [1983, с. 124] обсуждает критерий степени организованности («диссонанс системы», предложенный **В.А. Лефевром** [1973; Лефевр, Смолян, 2011]), и отмечает трудности его объективного определения ввиду невозможности задания «эталонной организации». Этот же показатель

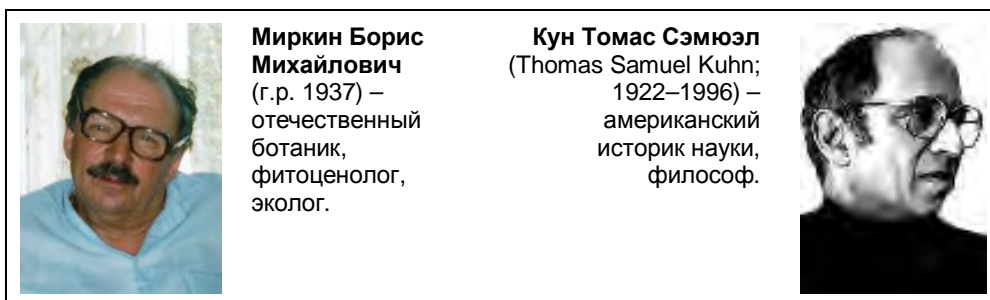
был использован для сравнения эффективности различных методов автоматической классификации растительности [Розенберг, 1975; Миркин, Розенберг, 19786]. При этом в качестве «эталонной классификации» задавалась случайная (т. е. классификация объектов, полученная с помощью датчика случайных чисел), что принималось в качестве эталона полного отсутствия организации. Тогда любая классификация была тем «эффективнее», чем «дальше» (в смысле введенной меры диссонанса) она отстояла от эталона (иными словами, тем большая степень организованности достигалась в результате данной классификации растительных сообществ). Этот пример свидетельствует о работоспособности идеи самоорганизации, не говоря уже об использовании многочисленных методов самоорганизующегося моделирования в геоботанических исследованиях (см. [Розенберг, 1984]).



Итак, подведу итог. В первой в мировой геоботанической литературе монографии по теоретической фитоценологии, которой и является работа В.И. Василевича, предпринята ревизия понятийного аппарата и некоторых принципов современной фитоценологии (и экологии). Сам факт заявки «на теорию» должен оцениваться положительно – в соответствии с крылатым высказыванием **М. Фарадея** «Нет ничего практичнее хорошей теории!». Однако качество понятийно- и концептуально-теоретических основ работы Василевича оставляет чувство неудовлетворения. Сосредоточив все свое внимание на *языке науки*, автор не только не рассматривает собственно *законы* данной науки (не говоря уж об их формализациях), но и многие важные свойства фитоценозов и фитоценотические явления. К ним могут быть отнесены теоретические вопросы ценопопуляционного анализа, ординации и классификации растительности, геоботанического районирования и другие. Естественно, что одному исследователю «поднять» все эти проблемы не по силам; однако, в первой монографии по теории фитоценологии хотелось бы видеть большую логическую завершенность именно методологических основ построения теории и иметь указания о направлениях дальнейших исследований. Здесь уместно вспомнить слова еще одного из крупнейших физиков XX столетия **М. Борна** [28, с. 365]: «ценность теории тем выше, наше доверие к ней тем больше, чем меньше в ней свободы выборы, чем больше её логическая принудительность».

4. Теория по Б.М. Миркину

Выхода на рубеже тысячелетий в свет этой книги [Миркин, Наумова, 1999] ожидали давно – на рубеже веков она должна была стать, своего рода, итогом активной работы башкирских геоботаников и экологов по синтезу нового междисциплинарного научного комплекса (МДК), который они называли «наукой о растительности» (НОР). Однако тяга к «теоретизированию» у **Б.М. Миркина** проявилась значительно раньше. Первоначально рассмотрим его более раннюю монографию.



В предисловии к ней Миркин [1985, с. 3] так формулирует цель фитоценологического теоретического исследования: «раскрыть особенности научного видения закономерностей растительности в свете концепции континуума». Именно поэтому содержанию монографии более соответствовало бы её первоначальное название "Парадигма современной фитоценологии"².

Под *парадигмой*, в соответствии с **Т. Куном** [1975], Миркин понимает признаваемые всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному обществу модель постановки проблем и их решений. В монографии подробно рассмотрен процесс смены парадигм в фитоценологии (смена представлений организмизма на континуум) при анализе структуры, динамики растительности, связи растительности и среды, классификации растительности. В какой-то степени при этом можно проследить и смену познавательных установок – эвристик [Розенберг, 1987; Розенберг, Смелянский, 1997; Nicolson et al., 2002], выступающих в качестве элементов парадигм. Отметим, что дискуссия по проблеме континуума была продолжена и позднее [Разумовский, 1981, 1999; Гиляров, 1988; Миркин, 1989а,б, 2005; Тимонин, 1989; Mirkin, 1994; Кафанов, 2005, 2006] при обсуждении дилеммы «хололизм – редукционизм».

² Я выступил в качестве редактора этой монографии и потому в курсе различных вариантов её названия.

Особый интерес для целей построения теории в фитоценологии представляет подробное обсуждение Миркиным содержания основного объекта фитоценологии – фитоценоза. Критикуя как «ценофункциональное» (организмистское) определение



**Норин
Борис
Николаевич**
(1924-2000) –
отечественный
ботаник,
фитоценолог.

Б.Н. Норина [1983], так и «клинальное» (континуалистическое) понимание фитоценоза В.И. Василевича [1983], автор приходит к прагматическому определению: *фитоценоз – это «однородный контур, часть континуума, где дифференцированные по нишам ценопопуляции связаны условиями среды и взаимоотношениями, причем роль взаимоотношений*

(включая и эдификаторные эффекты) будет существенно варьировать от одного типа растительности к другому» [Миркин, 1985, с. 50].

Попытка дать прагматическое определение «фитоценоза» есть не что иное, как попытка построения операционального определения [Juhász-Nagy, 1968]. Однако она не завершена, так как в определении отсутствует указание на способ сведения к дискретности любой непрерывности в растительности (кроме обязательного несходства местообитаний расположенных рядом сообществ). И это приводит к достаточно широкой вариации результатов определения границ фитоценоза, которую подчеркивает и сам автор [Миркин, 1985, с. 51]: «десять независимо работавших исследователей... могут выполнить разбиение массива растительности на фитоценозы и совершенно идентично, и существенно разойтись и в числе установленных первичных единиц, и в их границах».

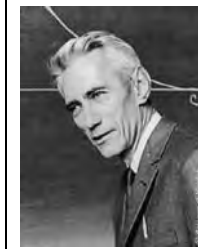
Б.М. Миркин указывает на один из возможных вариантов выхода из этой ситуации – проводить редукцию континуума с использованием строгих количественных методов, но при этом масштаб разбиения будет все равно задан субъективно. В этом случае можно говорить о необходимости введения операцивизма по П. Юхачу-Наги [Juhász-Nagy, 1968], т. е. в рамках конкретной исследовательской методологической программы можно попытаться свести субъективизм задания масштаба разбиения континуума к дедуктивной оптимизационной модели: только в этом случае «такой "количественный субъективизм" и обеспечит совпадение результатов у разных исследователей, работающих по одной методике» [Миркин, 1985, с. 52].

Здесь необходимо подчеркнуть следующее обстоятельство. До сих пор «объективизация» геоботанических (и в более широком плане, экологических) исследований путем использования количественных методов ведется, в основном, именно операционным (измерительным) путем. Так, в частности, характеристика структуры фитоценоза осуществляется с использованием

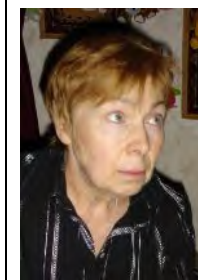
различных индексов разнообразия (см., [Одум, 1986; Миркин и др., 1989]), среди которых наиболее известен *энтропийный индекс Шеннона*³. Многочисленные «информационные аналогии» в геоботанике основаны именно на «измерении» информации в соответствии с принципом операционности. При этом забывается, что собственно теория информации не имеет ни какого отношения к измерению информации – фигурирующие в ней энтропийные выражения возникают во многих асимптотических соотношениях комбинаторики и потому встречаются в различных областях науки, её использующих [Флейшман, 1986; Шитиков и др., 2003, 2005]. Таким образом, применение индексов разнообразия для «объективизации» границ фитоценозов на самом деле и будет выступать по Миркину как «количественный субъективизм». Только построение дедуктивных оптимизационных моделей в рамках системологии способно действительно объективизировать процесс установления границ растительных сообществ.

«Наведение порядка» в концептуальных основах изучения горизонтальной структуры растительных сообществ – это еще одна «сильная сторона» исследования Миркина [1985], которая имеет прямой выход на теоретическую фитоценологию. Проведен анализ критериев различения интра- и интерценотических мозаик, из которых для практического использования рекомендованы два: *каузальные* (причины формирования неоднородности внутренние или внешние) и *динамические* (обратимость или необратимость динамики мозаик), рассмотрены основные типы мозаик, соотношение непрерывности и дискретности в них, масштаб различий микрогруппировок и пр.

В предисловии к своей работе, с обсуждения которой я и начал этот раздел, Б.М. Миркин и Л.Г. Наумова [1999, с. 10] так формулируют цель исследования: «дать обзор истории и современного состояния основных концепций НОР», при этом постулируется, что «науки НОР исследуют закономерности отношений растений друг с другом и условиями среды в пространстве и во времени на уровнях от индивидуума и популяции до растительности крупных фитоценозов» (с. 8). Фактически, с «точностью до запя-



Шеннон Клод
(Claude Elwood Shannon;
1916-2001) –
американский
математик,
кибернетик.



**Наумова
Лениза
Гумеровна**
(г.р. 1947) –
отечественный
ботаник,
фитоценолог,
эколог.

³ Более подробно этот индекс будет обсуждаться далее (см. раздел 5 этой главы).

той» и акцентом на «растительную составляющую» это есть определение экологии (например, «экология – это наука о взаимоотношениях живых существ между собой и с окружающей их неорганической природой, о связях в надорганизменных системах, о структуре и функционировании этих систем...» [Чернова, Былова, 1988, с. 3] или «экологию можно определить как систему научных дисциплин, изучающих жизнь на надорганизменном уровне организации... Экология имеет дело в основном с той стороной взаимодействия организмов со средой, которая обуславливает развитие, размножение и выживание особей, структуру и динамику популяций (видового населения) и сообществ и их роль в протекающих в биоценозах процессах...» [Гиляров и др., 1977, с. 3-4]). И здесь авторы явно нарушают ими же используемый в дальнейшем (с. 25) и неоднократно упоминаемый в этой работе принцип «бритвы Оккама», так как «наука о растительности» оказывается тождественной «экологии растительности и растений».

Излагаемая в книге структура НОР весьма дискуссионна, как, впрочем, и любая попытка структурирования (классификации) науки. Эта задача



Оккам Уильям
(William Ockham
[Ockham];
ок. 1285-1349) –
британский
философ-
схоласт,
теолог.

особенно трудновыполнима в период «лавинообразного увеличения объема знаний», когда отчетливо влияние двух наукоформирующих тенденций – дифференциации и интеграции. Родить (выявить), взрастить (определить теоретические основы) и воспитать (оказать влияние) на «супернауку» могут только «генералы» (по остроумной классификации авторов; с. 7), к каковым с полной уверенностью можно отнести Миркина и Наумову. «Генералитету» науки ничто человеческое не чуждо (кстати, «генералы» не обязательно выигрывают все сражения), однако они не как все, потому что говорят и пишут больше и лучше о том, что больше и лучше знают. И еще, «генерал» от «не генерала» отличается тем, что он знает стратегию и это дает возможность всей армии двигаться в заданном направлении успеха.

Объективно классифицировать «живую», развивающуюся науку практически невозможно – она также континуальна, как и само знание. Однако, когда возникает необходимость синтеза некоего МДК, основой становится возможность очертить круг рассматриваемых вопросов. В первой же фразе первой главы "Методология современной НОР: концепция континуума" [Миркин, Наумова, 1999, с. 12] сформулирована идеология рецензируемой работы: «Парадигма современной НОР – это континуальный взгляд на природу всех элементов растительности (от популяции до фитосферы) и прагматический редукционизм, т. е. сведение континуальных явлений к системе дискретных единиц».

Обсуждение содержания основного объекта фитоценологии – фитоценоза практически полностью повторяет более ранние представления Миркина [1985] со всей следующей за этим критикой (см. выше). А вот к числу удачных, несомненно, следует отнести и разделы, касающиеся концепции экологических ниш растений, форм организации фитоценозов, классификации, синдинамики. В этих разделах можно найти много полезных (для построения фитоценологической и экологической теории) понятий и закономерностей. Все они хорошо аргументированы и могут стать основой для математической формализации в рамках оптимизационных моделей.

Стратегические цели работы Б.М. Миркина и Л.Г. Наумовой – окончательное и бесповоротное формирование у будущих «офицеров» НОР экологического мировоззрения мирового уровня, выявление и утверждение приоритетов русскоязычных научных школ и вывод национальных традиций НОР на передовые позиции – можно считать достигнутыми [Кудинов и др., 2001]. Вот почему эта книга будет полезна и студенту, и аспиранту, и доктору наук. Выход в свет "Науки о растительности" знаменует также победу континуализма, не только как «методологического стержня современной НОР», но и как образа мышления современного эколога.

5. Теория по А.Ф. Алимову

Как уже отмечалось выше, любая наука в процессе познания окружающего мира и своем развитии проходит, как минимум, три основных этапа – накопление эмпирического знания (описательный, инвентаризационный), концептуально-теоретический и этап математической формализации структуры и механизмов функционирования описываемых систем. Как и для фитоценологии, наверное, с определенной долей уверенности можно говорить о том, что первый этап становления гидробиологии завершен (точнее, продвинут дальше всех), второй находится в стадии активной разработки, а вот третий – еще в начале своего пути.

В начале нового тысячелетия вышла книга **А.Ф. Алимова** [2000], выполненная как раз на стыке второго и третьего этапа становления теоретической гидробиологии. Именно это её уникальное положение на «оси теоретизации» как гидробиологии, так и экологии в целом и заставляет рассмотреть её самым внимательным образом [Розенберг, 2002б].



Алимов Александр Федорович
(г.р. 1933)
отечественный гидробиолог, эколог; академик РАН.

Во "Введении" автор подчеркивает, что «важнейшими задачами гидробиологии и гидроэкологии можно считать оценку состояния и прогнозирование возможных изменений водных экосистем под влиянием внешних, особенно антропогенных, факторов, определения оптимальных условий и степени эксплуатации экосистем» (с. 7). Естественно, что решение этих задач возможно лишь при достаточной степени разработанности концептуально- и формально-теоретического этапов. В качестве базы их разработки Алимов принимает системный подход, правда, если можно так сказать, в его «традиционном» варианте по Ю. Одуму (несколько отличном, от изложенного в первой главе «конструктивного системного подхода»). Здесь же автор совершенно справедливо выделяет две основные характеристики водных экосистем – их целостную структуру и характер функционирования (динамику). Причем, в основе описания этих характеристик лежат положения «школы продукционной гидробиологии» **Г.Г. Винберга**, активным сторонником и творческим продолжателем которой является Алимов.

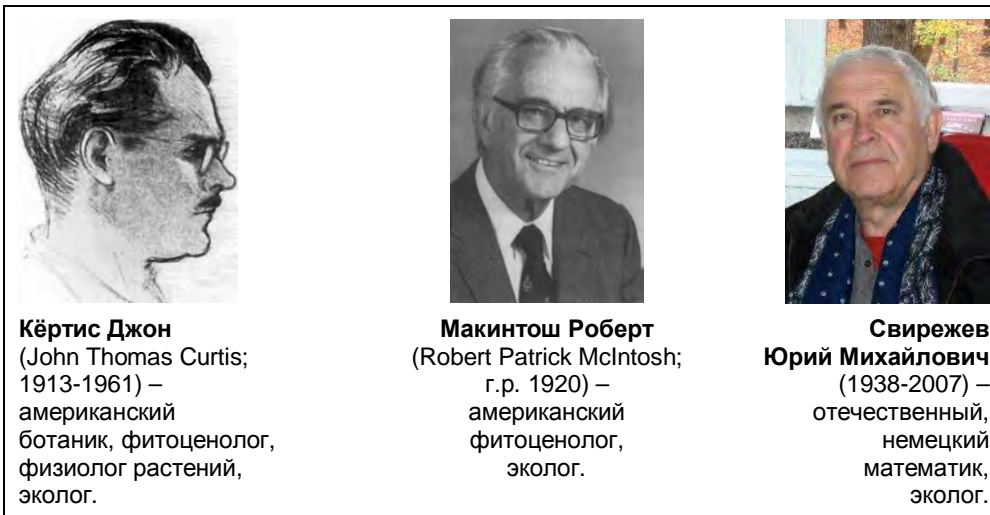


**Винберг
Георгий
Георгиевич**
(1905-1987) –
отечественный
гидробиолог,
эколог;
чл.-корр.
АН СССР.

В первой главе "Структура сообществ организмов и экосистем" автор конспективно рассматривает основные структурообразующие факторы (доступность ресурсов, конкуренция, хищничество, волны космических [в дальнейшем эти факторы не обсуждаются и их упоминание «всую» вряд ли оправдано] и климатических явлений, антропогенные воздействия). Обсуждая зависимость числа видов животных от площади местообитания Алимов ограничивается логарифмической кривой, что явно недостаточно (такого рода зависимости подробнее рассмотрены в фитоценологии). Здесь же обсуждается ряд показателей (индексов) разнообразия, среди которых особое место занимает информационный показатель Шеннона, так как именно опираясь на него, Алимов строит свою теорию функционирования водных экосистем.

Выбор в качестве базисного такого рода показателя является принципиальным моментом и потому хочется сделать несколько общих замечаний о современной «индексологии» вообще, и об индексе Шеннона в частности. Пик работ по «вводу» в экологическую науку новых индексов и разного рода коэффициентов пришелся на конец 60-х – начало 80-х годов уже прошлого века. Причем, основная часть этих индексов строилась, если можно так выразиться, «эмпирически», т. е. авторы пытались просто «одеть» в математическую форму свои представления о структуре описываемых систем. Это привело к появлению таких показателей, как например, *индекс значимости вида*



Кёртиса, представляющего собой сумму (?) относительных величин численности вида, его проективного покрытия и относительного доминирования [Василевич, 1969]. Сегодня эти показатели продолжают активно использоваться (например, *индекс разнообразия Макинтоша*, связанный с суммой квадратов (?) обилия видов), не взирая на их малое экологическое содержание и полное отсутствие какого-либо модельного обоснования.



Что касается индекса разнообразия Шеннона, то при его использовании «забывают» о ряде его интересных свойств. В частности, приведу интересное замечание **Ю.М. Свирежева** [1976, с. 272]: «Как больцмановская энтропия в статистической физике, так и информационная энтропия в теории информации (*а это и есть индекс Шеннона*. – Г.Р.) имеют смысл лишь для ансамблей из слабо взаимодействующих частиц или каких-либо других объектов. Введение энтропийной меры для таких множеств вполне обосновано. Но как только мы имеем дело с системами, элементы которых сильно взаимодействуют между собой, энтропийная мера уже неудовлетворительна... С этой точки зрения понятны неудачи в применении энтропийной меры на ранних стадиях эволюции сообществ...». Добавим к этому и тот математический факт, что индекс Шеннона достигает своего максимума при одинаковой частоте встречаемости всех видов; иными словами, максимальное разнообразие должно наблюдаться для равновесных сообществ без выраженного доминирования, что в природе обычно не наблюдается (Одум, 1975). Не будем забывать и такой факт: «Много писали о том, что высокое видовое разнообразие обеспечивает стабильность сообщества, объясняя это тем, что при варьировании условий среды во времени одни виды снижают обилие, а другие его увеличивают, но при этом продуктивность сообщества сохраняется. Но это не стабильность сообщества, так как биомасса – не самый важный признак типа

растительных сообществ, т. е. синтаксона. Высокое видовое разнообразие само по себе не обеспечивает стабильности» [Василевич, 2009, с. 514] Думается, что все эти моменты следует учитывать при использовании разного рода индексов.

В разделе "Влияние биотических и абиотических факторов" подробно и с многочисленными примерами демонстрируются различные зависимости индекса разнообразия Шеннона от величины БПК₅, количества взвешенного органического вещества (ВОВ), бихроматной окисляемости воды (БОВ), от различных соотношений численности и биомассы видов, входящих в оцениваемые сообщества (стено- и эврибионтных видов, хищных и нехищных животных бентоса, фильтраторов к общей биомассе зоопланктона и пр.). Все это позволяет Алимову сделать ряд интересных выводов – это либихшелфордская зависимость разнообразия сообществ бентоса от ВОВ, пропорциональное снижение разнообразия фито- и зоопланктонных сообществ при возрастании первичной продукции в водоеме, возрастание биомассы водных сообществ по мере упрощения их структуры (например, в результате загрязнения или эвтрофирования). Логарифмический характер зависимости удельной продукции сообществ донных организмов и их биомассы от индекса разнообразия хорошо вытекает из эмпирических данных и полностью соответствует общеэкологическим установкам (например, *принципам островной биогеографии Мак-Артура–Уилсона*) – в этом контексте классическими следует признать примеры двукратного увеличения разнообразия при 10-кратном изменении БОВ и содержания общего фосфора.

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | <p>Мак-Артур Роберт (Robert Helmer MacArthur; 1930-1972) – американский математик, эколог, генетик, биогеограф.</p> | <p>Уилсон Эдвард (Edward Osborne Wilson; г.р. 1929) – американский энтомолог, этолог, эколог, биогеограф.</p> |  |
|---|--|--|---|

Вторая глава "Динамика биомассы" невелика по объему (12 стр.), но очень важна для строящейся теории функционирования водных экосистем. Наиболее важным моментом, отраженным в этой главе, следует признать методический прием выражения вариабельности динамики биомассы (ВДБ) через отношение максимальной к минимальной биомассе. Это позволило Алимову на обширном литературном материале продемонстрировать разные типы динамики биомассы сообществ животных бентоса в озерах и сделать вывод о том, что ВДБ является одной из важных характеристик динамики вод-

ных сообществ (причем, ВДБ возрастает при усилении антропогенных воздействий на водоемы).

Оценкам зависимости биологической продуктивности (способности живых организмов создавать, консервировать и трансформировать органическое вещество) от абиотических и биотических факторов посвящена следующая глава "Продуктивность водоемов". Для пяти типов водоемов, выделенных **М.В. Мартыновой** [1984, 2010] по соотношению продукции водных макрофитов и суммарной первичной продукции (макрофитов и планктона), автор строит регрессионные зависимости продукции макрофитов от планктона и количественно демонстрирует в целом снижение величины продукции макрофитов по отношению к продукции планктона, что, в принципе, является тривиальным выводом, так как сами типы водоемов выделены по снижению процентного участия в первичной продукции макрофитов. Более интересным представляется выделение четырех типов водоемов по целому спектру характеристик [Алимов, 2000, с. 56] и зависимость продукции планктона от изменчивости температуры водоемов, что подтверждает наблюдаемую картину увеличения продуктивности водоемов по направлению от арктических к тропическим.



**Мартынова
Муза
Владимировна**
(г.р. 1941) –
отечественный
гидрохимик.

В этой главе особый интерес представляет небольшой раздел "Связь структурных и функциональных характеристик", в котором проанализированы зависимости P/R -коэффициентов (как для сообществ в целом, так и для отдельных групп организмов) от индекса Шеннона и биомассы рыб, что позволило, в частности, количественно подтвердить «положение о том, что рыбы способствуют поддержанию высокого видового разнообразия и стабилизации потоков энергии в сообществах животных» (с. 66).

В главе четыре "Биотический баланс и потоки энергии в экосистемах" рассмотрены различные составляющие биотического баланса и проанализированы их зависимости от различных факторов. Восприятие результатов этой главы было бы облегчено, если бы автор в начале привел блок-схему (граф) связей составляющих биотического баланса (аналогично блок-схемам на с. 86 и 112): тогда различные построенные им зависимости «играли» бы на конечный результат полного описания водной экосистемы. По этой главе (как, впрочем, и по первому разделу следующей главы) хочется сделать еще одно замечание методологического характера. Для любой сложной системы (а водные экосистемы – сложные) следует различать простые и сложные характеристики. Не вдаваясь в мудрёные системологические определения (см., на-

пример, [Розенберг и др., 1999] и первую главу настоящей монографии), под первыми понимаются аддитивные (для них то и подходят балансовые соотношения), а под вторыми – неаддитивные характеристики. Естественно, формализация первых – это обязательный этап построения теории сложных систем (в том числе и теории функционирования водных экосистем), но основное содержание этой теории будет определяться теоретическим описанием сложных характеристик (с учетом эффектов нелинейности, эмерджентности и пр.).

Пятая глава состоит из двух разделов – "Потоки вещества" и "Потоки информации". Особый интерес представляет второй раздел. Здесь автор оригинально определяет понятие «информация»: «Используя понятие энтропии, можно сказать, что информация есть мера количества неопределенности, которое исчезает при получении сообщения» (с. 91). Очень интересен краткий обзор современных представлений об информационных сигналах и потоках в экосистемах (хотя, значительная часть описанных феноменов может интерпретироваться не на «языке теории информации», а на «языке аллелохимических взаимодействий»). Следует согласиться с Алимовым в том, что «информацию в экологии чаще всего сводят к разнообразию, благодаря чему получил широкое применение в экологических исследованиях *индекс Шеннона*. Однако из такого понимания информации трудно получить представления о структуре потоков информации и количественно их выразить» (с. 95). Действительно, об опасности подмены конструктивных положений теории информации измерением информации предупреждал еще её создатель К. Шеннон. И все-таки, померить в каких-нибудь «попугаях» информационные процессы в экосистемах очень хочется. И здесь Алимов демонстрирует интересный подход – оценку потоков информации в экосистемах по потокам фосфора (последовательность реакций – канал связи, а отщепление фосфат-иона – сигнал в 1 бит). Правда, в «балансовом варианте» такой информационный подход просто дублирует вещественно-энергетические балансы; а вот оценка сигнальной (сложной) составляющей информации, представляется, может дать новое знание (в качестве примера укажем на информационную модель стайного поведения рыб [Флейшман, 1982, с. 260-284]).

Шестая глава "Стабильность и устойчивость водных экосистем" логически вытекает из всех предыдущих глав. Четко представляя все многообразие типов устойчивости, Алимов под устойчивостью сообщества или экосистемы «предлагает понимать отклонение их характеристик от некоего среднего уровня, свойственного конкретной системе как исторически сложившейся при определенных условиях» (с. 102-103). С этой точки зрения совершенно оправданным в качестве меры устойчивости выглядит показатель ВДБ (рассмотрена его зависимость от индекса разнообразия). Алимов для

оценки влияния антропогенных факторов вводит понятие «выносливости» экосистем – способность противостоять изменениям внешних условий (заметим, что в чем-то сходное понятие «живучесть» как активное подавление вредных факторов было предложено **Б.С. Флейшманом** [1966, с 14; 1982, с. 31]). В качестве меры выносливости предлагается использовать производную функции, описывающей связь между сложностью системы (индексом разнообразия Шеннона) и конкретным фактором среды. В этом случае, все нелинейные зависимости индекса разнообразия от тех или иных факторов, которые были получены и описаны автором в предыдущих главах, можно использовать для оценки выносливости экосистемы (правда, открытым остается вопрос об оценке выносливости в случае синергетического действия нескольких факторов).



**Флейшман
Бенцион
Семёнович
[Шимонович]**
(г.р. 1926) –
отечественный
математик,
системолог.

Завершает монографию глава "Закономерности функционирования водных экосистем". Пожалуй, это наиболее интересная глава, демонстрирующая работоспособность системного подхода и комплексного использования отдельных эмпирико-теоретических зависимостей параметров структуры и динамики сообществ для описания процессов функционирования водных экосистем. За основу взята разработанная автором совместно с **А.А. Умновым** математическая модель озерной экосистемы без термоклина. Фактически, осуществлено имитационное моделирование с учетом всей проанализированной в книге информации.



**Умнов
Альберт
Александрович**
(1941-1998) –
отечественный
гидробиолог,
эколог.

Так в чем же преимущество теории (модели) функционирования водных экосистем по-Алимову над другими моделями? Думается, что автор сумел найти ту «золотую середину», которая отличает его подход от чисто математического (аналитического) описания с одной стороны и имитационного (прагматического) с другой. В первом случае, чаще всего, «зануление» некоторых коэффициентов модели сводит её к классическим вольтерровским системам конкуренции или «хищник – жертва» и анализ таких моделей – в большей степени математика, чем экология. Во втором случае, имитация каждый раз оказывается сугубо индивидуальной (полные прогнозные модели,

например, оз. Байкал и Ладожского озера будут существенно различаться и не позволят выявить каких-то общих закономерностей, что и составляет суть



**Маргалевф
Рамон**
(Margalef
[i López]
Ramón
(1919–2004) –
испанский
гидробиолог,
эколог;

построения теории данного класса объектов). В этом проявляется *принцип множественности моделей сложных систем*. «Теоретико-практический компромисс» между этими крайностями и дает подход А.Ф. Алимова. Книга, несомненно, интересна, дискуссионна, в ней поставлено задач и задано вопросов значительно больше,

чем получено ответов. Именно в этом она близка к столь же малой по объему книге конца 60-х годов **Р. Маргалевфа** "Перспективы экологической теории" [Margalef, 1968] и потому, хочется верить, ей уготовлена столь же блестящая судьба.

6. Теория по В.С. Ипатову и Л.А. Кириковой

Вернемся к растительным сообществам. Во второй половине 1997 г. вышел в свет учебник **В.С. Ипатова** и **Л.А. Кириковой** "Фитоценология" [Ипатов, Кирикова, 1997]. И хотя в названии работы и нет, собственно, слова «теоретическая», эта работа, несомненно, претендует на теоретическое осмысление современной фитоценологии и её можно рассматривать именно в таком контексте.



**Ипатов
Виктор
Семёнович**
(г.р. 1930) –
отечественный
ботаник, эколог,
фитоценолог.

**Кирикова
Людмила
Александровна**
(1929-2004) –
отечественный
ботаник,
фитоценолог.



Не ставя задачу дать полный критический анализ этой работы (особенно её дидактической составляющей) остановимся лишь на некоторых «теоретических моментах». Прежде всего, это касается достаточно явной (особенно для учебника) дискуссии с В.И. Василевичем [1969] о причинах и соотношении *континуума* и *квантованности* растительного покрова [Ипатов, Кирикова, 1997, с. 225-232]. Так, по мнению Василевича, одной из основных причин континуума является *относительная неспецифичность воздействия видов на среду*; Ипатов и Кирикова, напротив, обосновывают *специфический характер трансформации растениями среды обитания* – этому посвящен

специальный раздел монографии [Ипатов, Кирикова, 1997, с. 94-96]. В известном смысле, этот спор достаточно схоластичен: сложные экологические и фитоценотические системы обладают большим числом сложных параметров [Розенберг и др., 1999, 2002] и, в принципе, в природе легко подобрать примеры, подтверждающие как одну, так и другую точку зрения. Еще раз вспомним по этому случаю статью **В.Д. Александровой** [1966] "О единстве непрерывности и дискретности в растительном покрове", более раннюю работу этих же авторов [Ипатов, Кирикова, 1985], да и окончательный вывод: «Континуум и квантованность – коренные свойства растительного покрова и выражены одновременно и всюду» [Ипатов, Кирикова, 1997, с. 232]. Эта точка зрения многократно обсуждалась ранее, и здесь приведем лишь еще один пример-анalogию [Розенберг и др., 2002].



**Александрова
Вера Даниловна**
(1910-1989) –
отечественный
ботаник,
фитоценолог.

Пусть имеется два продукта – сыр и шоколад. Первый являет собой пример полного превалирования континуума над дискретностью и его «классификация» (нарезание) будет определяться сугубо прагматическим подходом (очень голоден – толстые куски, для фуршета – тонкие). Шоколад может интерпретироваться как «единение и некоторое превалирование дискретности над непрерывностью» и его «классификация» (разламывание), чаще всего, будет проходить по долькам, то есть будет более «естественной». Возникает вопрос: для какой цели следует добиваться «более естественной классификации» и вести исследования до «...порой мучительного выделения квантов в натуре» [Ипатов, Кирикова, 1997, с. 232]? В принципе, можно свести растительное сообщество к квантам-особям (хотя для растений выделить особь бывает зачастую значительно сложнее, чем для животных – здесь тоже можно говорить о наличии континуума). Но что даст такое «квантирование» для понимания организации растительного сообщества?

Целая глава работы посвящена проблемам организации растительного покрова, а в разделе "Ценоэлементы в растительном покрове" [Ипатов, Кирикова, 1997] авторы, опираясь на почти 30 терминов, приведенных в монографии **А.А. Корчагина** [1976], предлагают следующую классификацию разных функциональных элементов:



**Корчагин
Александр
Александрович**
(1900-1977) –
отечественный
ботанико-
географ,
эколог
растений.

- *инфраценоэлементы* (совокупности растений, которые не охватывают весь растительный покров по вертикали) – ценоячейки, синузии и гиперсинузии;
- *ультраценоэлементы* (совокупности растений, включающие в себя все особи по вертикали растительного покрова) – кономы, ценомы и синомы.

Для наглядности, представим все определения в некотором «формальном виде» (аналогичном **табл. 1.1** в главе 1), что позволяет более четко увидеть как сходство, так и их различия (**табл. 8.1**).

Таблица 8.1

Некоторые фитоценоотические и внутрифитоценоотические функциональные элементы, рассмотренные В.С. Ипатовым и Л.А. Кириковой

| Функциональные элементы | Определение | Формальная запись определения |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Ценоячейка (В.С. Ипатов) | Элементарное ценоотическое образование, в которое входят растения, объединенные индивидуальными топическими трофическими конкурентными отношениями между собой и с центральным растением. | $CY = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^m T(S_{ij}^m \rightarrow S)$ <p>CY – ценоячейка, S_{ij}^m – особь j вида i яруса m, S – центральное растение.</p> |
| Синузия (Г. Гамс, Т. Липпмаа, Б.Н. Норин) | Совокупность перекрывающихся ценоячеек; синузия – это растения <ul style="list-style-type: none"> • одной или нескольких близких жизненных форм, • которые сближены, сомкнуты в подземных или надземных частях (достигают порога ценоотических влияний), • обладают экологическим сходством, • образуют единую экологическую нишу, • взаимодействуют между собой, • создают собственную экосреду и • обладают относительной автономностью. | $SIN = T(\bigcap_{i=1}^n CY_i) < R$ <p>R – порог ценоотических влияний.</p> |
| Гиперсинузия (Г. Гамс) | Синузия, образованная растениями разных жизненных форм. | $G-SIN = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^m S_{ij} < R$ <p>S_{ij} – особь j вида i,</p> |

| | | |
|----------|--|---|
| | | \cap – ценотические отношения. |
| 1 | 2 | 3 |
| Коном | Гиперсинузия, охватывающая всю толщу растительного покрова, эдификаторным элементом которой является <i>конфасция</i> (растения в совокупности с симбионтами). | $\text{CON} = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^m \mathbf{K}_{ij} < \mathbf{R}$ \mathbf{K}_{ij} – конфасция особи j вида i , \cap – ценотические отношения |
| Ценом | То же самое, но эдификаторный элемент – ценоячейка. | $\text{CEN} = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^m \mathbf{CY}_{ij} < \mathbf{R}$ |
| Сином | То же самое, но эдификаторный элемент – синузия. | $\text{SIM} = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^m \mathbf{SIN}_{ij} < \mathbf{R}$ |

| | |
|--|---|
|  | <p>1. Гамс Гельмут (Helmut Gams; 1893-1976) – австрийский ботаник, фитоценолог, эколог.</p> <p>2. Липпмаа Теодор (Theodor M. Lippmaa; 1892-1943) – эстонский, отечественный ботаник, эколог, фитоценолог.</p> |
| <p>1 2</p> | |

7. Теории *a la modern*

В этом разделе рассмотрим несколько теоретических работ, появившихся с конца 80-х годов и еще не успевших «оформиться» в соответствующие монографии теоретического плана.

| |
|--|
| <p>Куль Калеви (Kalevi Kull; г.р. 1952) – отечественный, эстонский эколог,</p> |
|--|

К. Куль [1988, с. 13] следующим образом сформулировал *центральную задачу фитоценологии* (ЦЗФ): «Пусть на площадке S в момент t живет n известных видов растений в количествах a_1, \dots, a_n , при этом их возрастные состояния (r) образуют спектры $P_1(r), \dots, P_n(r)$. Определить (прогнозировать) количества растений разных видов на этой площадке в момент $t+T$, при известном микроклимате, почве и инвазии диаспор». Исходя из этого, теория фитоценологии понимается Кулем как совокупность алгоритмов (формул, правил, моделей), которые способствуют решению данной центральной задачи фитоценологии в том или ином частном случае. В этом варианте ЦЗФ является примером физического подхода к построению теории, сложности и недостатки которого уже обсуждались [Розенберг, 2003а].



специалист по биосемиотике.

Столь обобщенная запись ЦЗФ, предложенная Кулем, по справедливому замечанию Б.М. Миркина [1989в, с. 72], представляется «мало реальной в силу её чрезмерной сложности, а потому и опасной: огромные затраты средств могут попросту не окупиться результатами».

Здесь я сделаю еще одно замечание общесистемного характера. В системологии хорошо известен *принцип множественности моделей сложных систем*



Налимов Василий Васильевич (1910-1997) – отечественный математик, философ.

В.В. Налимова (см.: [Розенберг и др., 1999] и главу 1, раздел 5), в силу которого, одна и та же экосистема может быть примерно с одинаковой адекватностью (качественной или количественной) описана несколькими различными моделями. Кроме того, в силу уникальности каждой из экосистем нельзя рассчитывать на то, что

все многообразие этих уникальных объектов будет описано с помощью единственной (пусть и очень обобщенной) модели.



Цобель Мартин
(Martin Zobel;
г.р. 1957) –
отечественный,
эстонский
ботаник, эколог.

Цобель Кристиан
(Kristjan R. Zobel;
г.р. 1960) –
отечественный
эстонский ботаник,
лихенолог, эколог.

В этом же сборнике "Перспективы теории фитоценологии" опубликована еще одна интересная в теоретическом плане статья **М. Цобеля** и **К. Цобеля** [1988; см. также: K. Zobel, M. Zobel, 1988], в которой развиваются представления о нулевой гипотезе (H_0) для фитоценозов, подразумевая под ней то состояние растительных сообществ, при котором наблюдается «отсутствие интеракции между видами и отсутствие гетерогенности среды»

[с. 27]. Иными словами, они [с. 28] задают некоторый «идеальный» фитоценоз, с которым путем вычисления «разницы между степенью варьирования конкретного сообщества и степенью варьирования смоделированного сообщества по условиям H_0 » определяется уровень «фитоценоличности» различных сообществ. Замечу, что аналогичный теоретико-методический подход я использовал [Розенберг, 1975] при оценке качества той или иной количественной классификации одного объекта (точнее степени структурированности матриц сходства сообществ, получаемых разными методами автоматической классификации; при этом в качестве H_0 фигурировала матрица со случайным образом «перетасованными» строками и столбцами, а в качестве «разницы» задавалась некоторая мера диссонанса). Таким образом, методически данный подход уже апробирован при решении некоторых фитоценологических задач, а вот необходимость построения нулевой гипотезы H_0 представляется очень важным шагом в направлении синтеза теоретической фитоценологии.

Вероятно, напрямую к этой работе примыкает очень интересное исследование **А.А. Савельева** [2004], в котором оригинально формулируется нулевая гипотеза для вероятностного описания и статистической проверки концепции непрерывности растительного покрова. Предполагается, что «модель вероятностного описания флористического состава растительного покрова при выполнении гипотезы индивидуальности (H_0 ; – Г.Р.) для получения списка вероятностей присутствия каждого



**Савельев
Анатолий
Александрович**
(г.р. 1957) –
отечественный
математик,
эколог.

вида на площадке не требует данных о факторах среды, а использует только сами флористические списки» [Савельев, 2004, с. 91].

Пусть $g \in G$ – некоторое значение комплексного фактора среды, а $P(A|g)$ или $P_g(A)$ – вероятность наличия вида A в условиях g . *Гипотеза индивидуальности видов Раменского–Глисона* задается следующими предположениями:

- виды в среде распределены независимо друг от друга (рассматриваются только парные зависимости между видами): $P(A|g) = P_g(A) = P_g(A|B)$;
- вероятность встретить вид на данной площадке зависит только от условий среды g .

Тогда вероятность встретить совместно виды A и B в условиях среды g при выполнении гипотезы индивидуальности будет $P(AB|g) = P(A|g) \cdot P(B|g)$.



Глисон Генри
(Henry Allan Gleason;
1882-1975) –
американский
ботаник,
эколог,
фитоценолог.

Несложные преобразования с помощью *формулы Байеса*⁴ позволяют записать условную вероятность встретить вид A при наличии вида B для всей территории в следующем виде:

$$P(A|B) = P(A|g_i)P(g_i|B).$$



Если обозначить список видов, присутствующих на некоторой площадке с условиями среды g , через S_g , то вероятность встретить вид A на площадке можно оценить как

$$P(A|g) \approx \max_{B \in S_g} P(A|B).$$

Все эти вероятностные рассуждения позволяют построить статистическое правило для проверки нулевой гипотезы: распределение фактических вероятностей с помощью некоторого критерия (например, χ^2 или коэффици-

⁴ В "Philosophical Transactions of the Royal Society" за 1763 г. была опубликована работа Т. Байеса под названием "Опыт решения задачи по теории вероятностей покойного достопочтенного мистера Байеса, члена Королевского общества, сообщено мистером Прайсом в письме Джону Кентону, магистру искусств, члену Королевского общества" [Bayes, 1958; Майстров, 1967, с. 104]. Правда, «формула, которую сейчас называют формулой Байеса, в работе Байеса не содержится. Она получила такое название с "легкой руки" Лапласа» [Майстров, 1967, с. 118].

ента корреляции) сравнивается с теоретически рассчитываемым распределением модельных вероятностей $P(A|g)$.

| | | | |
|---|---|--|---|
|  | <p>Байес Томас (Reverend Thomas Bayes; 1702-1761) – британский математик, священник.</p> | <p>Лаплас Пьер-Симон (Pierre-Simon Laplace; 1749-1827) – французский математик, астроном.</p> |  |
|---|---|--|---|

А.А. Савельев [2004, с. 97] приводит убедительный пример такого рода сравнения для более чем 3000 геоботанических описаний территории Республики Татарстан, объединенных базой данных ФЛОРА. Для данного объекта гипотеза об индивидуальности распределения видов не отвергается (коэффициент корреляции между распределениями фактических и модельных вероятностей, используемый в качестве критерия проверки нулевой гипотезы, изменялся от 0,69 до 0,95).

* *
*
*
*

Таким образом, *теоретическая экология* в рассмотренных выше работах в большей степени затрагивает «основание» теории (думается, что оно «отработано» уже достаточно полно), на вербальном уровне определяя фундаментальные понятия и основные теоретические концепции. Как уже отмечалось, по многим «понятийным» вопросам точки зрения авторов прямо противоположны друг другу и поэтому каждый эколог должен определить свою позицию по отношению к дискутирующим сторонам. Очевидно, что степень удачности выбора основных понятий (см., например, [Розенберг, 1999а]), их идеализация и формализация будут во многом определять и саму возможность построения экологической теории.

Глава 9 «ОСНОВАНИЕ» ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

*Умным правит краткий миг,
глупый знает все из книг.
Умный глупому не пара;
Умный - груз, а глупый - тара.*

Даниил Хармс,

Стихотворения, 1933 г.

http://www.lib.ru/HARMS/xarms_poetry.txt#18

Как уже отмечалось в главе 7, «основание» теории включает пять элементов: *первоначальный эмпирический базис, идеализированный объект, систему фундаментальных понятий (экологических величин), процедуры измерения и правила действия над экологическими величинами.*

1. Первоначальный эмпирический базис

Развитие науки на своих ранних этапах обычно соответствует самому начальному периоду человеческого познания конкретной предметной области. *Эмпирическое познание*, как правило, становится исходным (выступает в качестве своеобразной «среды») и для всех других более высоких стадий и ступеней познания. Период эмпирического познания знаменует первое вторжение науки в область, где прежде безраздельно властвовало только чувственное восприятие (религия, искусство). При этом эмпирический уровень познания реализует лишь возможности описания и предсказания фактов, свойств и явлений рассматриваемой предметной области, но не даёт им объяснения. Последующее развитие науки в рамках этого периода характеризуются всё бóльшим использованием простейших количественных методов (чаще всего, в виде статистической обработки).

В итоге развития любой (частной) науки на уровне эмпирического предметного познания формируются *эмпирические основы предметной науки*, включающие в свой состав *эмпирические факты* (факты, приводящие к эмпирическим выводам), которые с помощью познавательных методов образуют массив вторичных знаний в виде *эмпирических данных*.

Более 200 лет тому назад, **И. Кант** написал слова, с которыми трудно не согласиться и сегодня: «Без сомнения, *всякое наше познание начинается с опыта*; в самом деле, чем же пробуждалась бы в действительности познавательная способность, если не предметами, которые действуют на наши чувства и отчасти сами производят представления, отчасти побуждают наш рассудок сравнивать их, связывать или разделять и таким образом перерабатывать грубый материал чувственных впечатлений в познание предметов, называемое опытом? Следовательно, никакое познание не предшествует во времени опыту, *оно всегда начинается с опыта (выделено мной. – Г.Р.)*» [Кант, 1964, с. 105].



Кант Иммануил [Эммануил]
(Immanuel Kant; 1724-1804) – немецкий философ; почетный академик Императорской академии наук и художеств в Санкт-Петербурге.

Чтобы «не изобретать велосипеда», приведу достаточно пространную цитату, фиксирующую современное представление только об одном элементе философской теории познания (эпистемологии) – эмпирическом знании [Канке, 2001, с. 87-89]: «*Наука – это деятельность человека по выработке, систематизации и проверке знаний*. Научным является не всякое знание, а лишь хорошо проверенное и обоснованное... Наука начинается с непосредственных наблюдений отдельных событий, фактов, которые фиксируются высказываниями... Для ученого очень важно обнаружить некоторую *регулярность*, ибо обнаруженная регулярность позволяет объяснять и предсказывать явления... При анализе эмпирических фактов надо учитывать все обстоятельства... Знания о явлениях уточняются благодаря измерениям, различного рода подсчетам. Одно дело знать явление только качественно, другое – иметь количественные сведения. Без количественных данных невозможно построить, например, сколько-нибудь сложное техническое устройство.

Основа эмпирического исследования – *эксперимент* (от лат. *experimentum* – проба, опыт). Эксперимент и есть испытание изучаемых явлений в контролируемых и управляемых условиях. Экспериментатор стремится выделить изучаемое явление в чистом виде, побочные обстоятельства должны быть устранены... При этом должно учитываться значение каждой составляющей эксперимента. В этой связи особое значение имеют *приборы*...

Среди методов эмпирического познания часто называют *наблюдение*. Имеется в виду наблюдение не как этап любого эксперимента, а самостоятельный способ изучения явлений... Интерпретация наблюдаемых состояний в принципе не отличается от понимания результатов экспериментов. Наблюдение можно считать своеобразным экспериментом.

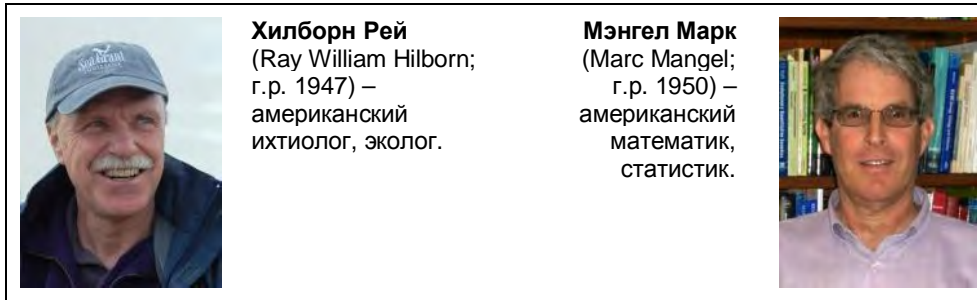
Интересной возможностью развития метода экспериментирования является так называемое *модельное экспериментирование*. В этом случае экспериментируют не с оригиналом, а с его моделью, образцом, похожим на оригинал. Оригиналу ведет себя не так чисто, образцово, как модель. Модель может иметь физическую, математическую, биологическую или иную природу. Важно, чтобы манипуляции с нею давали возможность переносить получаемые сведения на оригинал. В наши дни широко используется компьютерное моделирование.

Модельное экспериментирование особенно уместно там, где изучаемый объект недоступен прямому эксперименту... (*подробнее см. о познавательных установках в главе 1, раздел 7. – Г.Р.*).

Важнейшим экспериментальным методом является *измерение*, позволяющее получить количественные данные. Измерение А и В предполагает: 1). установление качественной одинаковости А и В; 2). введение единицы измерения (секунда, метр, килограмм, рубль, балл); 3) сопоставление А и В с показанием прибора, который обладает той же качественной характеристикой, что А и В; 4). считывание показаний прибора... (*выделено автором. – Г.Р.*)».

Таким образом, *эмпирический уровень познания* – это процесс мыслительной (языковой) переработки информации, полученной с помощью органов чувств. Переработка заключается в анализе, классификации, обобщении материала, получаемого посредством наблюдения. Здесь синтезируются понятия, обобщающие наблюдаемые предметы и явления. Таким образом, формируются эмпирический базис тех или иных теорий. Для *теоретического уровня познания* характерно то, что «здесь включается деятельность мышления как другого источника знания: происходит построение теорий, объясняющих наблюдаемые явления, открывающих законы области действительности, которая является предметом изучения той или иной теории» [Войшвилло, Дегтярев, 2001, с. 14]. Общенаучными методами, применяемыми как на эмпирическом, так и на теоретическом уровнях познания, являются такие методы как: *анализ* (метод исследования, состоящий в том, что изучаемый предмет «расчленяется» на составные элементы [признаки, свойства, отношения], каждый из которых затем исследуется в отдельности как часть расчленённого целого) и *синтез* («соединение» частей предмета, расчленённого в процессе анализа, установление взаимодействия и связей частей и познание этого предмета как единого целого), *индукция* и *дедукция*, *аналогия* и *моделирование*.

Соотношение эмпирического базиса и моделей (если это только не эмпирико-статистические или самоорганизующиеся модели, построенные с использованием эмпирической информации) далеко не всегда оказывается



идеальным. Как справедливо подчеркивают **Р. Хилборн** и **М. Мэнгел** [Hilborn, Mangel, 1997], модели, прежде всего, направлены на «обнаружение» тех экологических процессов, которые мы пытаемся понять по экспериментальным данным. Совместное использование экспериментальных и модельных данных позволяет распутать этот «экологический детектив» [Hilborn, Mangel, 1997; Проблемы экологического..., 2008].

Таким образом, эмпирический базис – набор достоверных экологических фактов. Так, например, практически вся фитоценотическая информация содержится в геоботанических описаниях растительных сообществ, которые выполняются в вариантах площадочных или бесплощадочных учетов. При этом основными задачами таких описаний являются выявление полного списка видов данного растительного сообщества (качественная составляющая) и установление роли видов в сложении фитоценоза (количественная составляющая). Кроме того, геоботаническое описание несет информацию о географии и топографии местности, где оно выполнено, а также целый ряд сведений экологического характера. Являясь элементарным измерением, геоботаническое описание используется для всех видов исследования растительных сообществ – классификации, ординации, оценке разнообразия, геоботанической индикации, изучения динамики фитоценозов, их структуры и пр. Это позволяет на примере именно геоботанического описания формализовать некоторые параметры эмпирического базиса [Розенберг, 1989б].

От каких объективных и субъективных факторов зависит точность (следовательно, и достоверность) геоботанического описания? По-видимому, точность P (под точностью описания понимаем вероятность качественного и количественного учета на пробной площадке всех видов сообщества) может быть представлена в следующем виде:

$$P = f_1(t, T, S, F, R), \quad S = f_2(T, Q, G, \alpha). \quad (9.1)$$

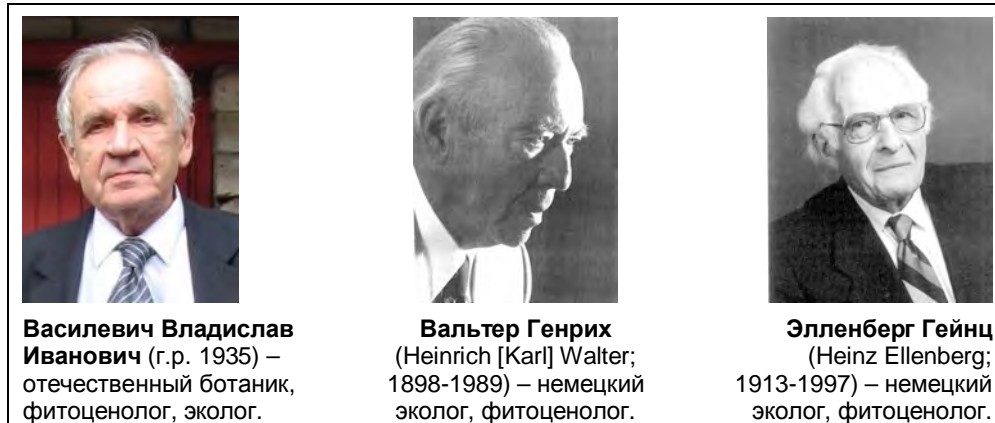
Здесь t – время проведения описания (сезон), T – тип растительности; это объективные характеристики, влияющие на точность описания P (очевидно, что в условиях северной тундры, когда растительный покров разомкнут и

представлен сравнительно небольшим числом видов, как качественный, так и количественный учет на одинаковых по размеру пробных площадках можно осуществить точнее, чем во флористически более богатых типах растительности (замечу, что здесь имеется ввиду «общая» зависимость точности описания от типа растительности, а не «частная», выраженная через площадь описания фитоценоза S , т.е. зависимость от гамма-, а не от альфа-разнообразия [Уиттекер, 1980]). В первом приближении можно предположить, что падение точности описания будет происходить при «движении» от тундры через луговую растительность к тропическим лесам (усложняется процесс описания и, тем самым, увеличивается вероятность совершения ошибки). Влияние времени описания (сезона) на точность не столь однозначно (особенно, на количественные характеристики ценопопуляций растений). Так, в бореальном лесу, примерно также богатом флористически, как и луговое сообщество, время описания будет меньше влиять на точность, так как в последнем случае существенное воздействие на характер растительности оказывает явление сменодоминантности [Работнов, 1983]. Наконец, на точность описания достаточно объективное влияние оказывает альфа-разнообразие (α) сообщества и степень гомогенности растительности (G): «избираемые площадки должны быть по возможности однородными в отношении внешних условий; кроме того, сообщество должно выглядеть гомогенным» [Вальтер, 1982, с. 101].

Остальные параметры субъективны в значительно большей степени: не вызывает сомнений факт влияния на точность геоботанического описания размера пробной площади (S), её формы (F), характера расположения описаний в пространстве (R) и, наконец, целей исследования и теоретической «установки» (парадигмы), которой придерживается исследователь (Q). Естественно, одни параметры в большей степени влияют на P (например, размер S), другие – в меньшей. Так, форма пробных площадок (круглая, прямоугольная, квадратная), чаще всего, выбирается из соображений удобства (см.: [Быков, 1988]), хотя имеются сведения о большей точности определения средней численности вида на прямоугольных площадках по сравнению с квадратными [Грейг-Смит, 1967], и еще большей – на круглых [Василевич, 1969]. Что касается характера размещения учетных единиц, то здесь предпочтение отдается случайному расположению пробных площадок [Грейг-Смит, 1967; Василевич, 1969], хотя и регулярный способ размещения мест описаний растительности при объеме выборки более 50 описаний дает результат, практически ничем не отличимый от случайного [Миркин, Розенберг, 1978б].

Сложность задачи формализации выбора размера площади описания часто отмечается геоботаниками. Например, **В.И. Василевич** [1969, с. 187] указывает, что «вполне возможно, что нам не удастся найти количественных

критериев для размеров площади выявления и придется определять её путем соглашения, установив общие правила для всех типов растительности». Именно так поступает **Г. Вальтер** [1982, с. 102], приводя таблицу приблизительных минимальных размеров пробных площадок для различных растительных сообществ (по данным **Г. Элленберга**).



Количественному изучению влияния размера пробных площадок на точность описания посвящена многочисленная методическая литература. Оптимальный размер пробной площади (S_{opt} – площадь, позволяющая учитывать, например, не менее 80% всех видов сообщества) существенно зависит как от альфа-разнообразия (обратная задача формулируется так: по какому закону с ростом площади описания увеличивается число встреченных видов), так и от типа растительности (точнее, от гамма-разнообразия: чем «беднее» флора, тем требуется больший размер площади описания). Так, для описания пустынных, сухостепных и степных сообществ Монголии по эмпирически подобрана следующая кривая связи числа видов на 100 м^2 (n_{100}) с величиной S_{opt} в м^2 [Миркин, Розенберг, 1978б, с. 150]:

$$S_{opt} = 250 \cdot \exp(-0,08n_{100}). \quad (9.2)$$

Аналогичная (с точностью до коэффициентов) экспоненциальная зависимость получена и для связи площади изолята с числом видов [Домбровский, Тютюнов, 1987, с. 5] в соответствии с теорией островной биогеографии [MacArthur, Wilson, 1967]. Естественно, что эти эмпирические формулы применимы только в области интерполяции (например, для пустынных, сухостепных и степных сообществ Монголии это, примерно, $10 \leq n_{100} \leq 50$ видов).

Как уже отмечалось выше, размер пробной площадки зависит не только от типа растительности (T), но и от целей исследования (Q). При изучении влияния изменения площади описания на сопряженность между видами, был сделан вывод о том, что «если позволяют условия, всегда целесооб-

разно провести наблюдения, используя пробные площади различных размеров» [Грейг-Смит, 1967, с. 161-163]. Таким образом, для классификации и ординации растительности необходим один размер пробных площадок, для вскрытия внутривитогенотических структур (микроруппировок) – другой, для экспериментального анализа конкурентных отношений между видами растений – третий. А так как постановка задачи – процесс творческий и слабо формализуемый, то и указать характер зависимости размеров пробных площадей от целей исследования не представляется возможным. Аналогичная ситуация возникает и при выборе исследователем той или иной теоретической парадигмы своей науки [Кун, 1977], т. к. она виляет не только на интерпретацию результата наблюдения, но и на сам процесс восприятия¹. В частности, в фитоценологии (да и в экологии в целом) смена представлений о соотношении дискретности и непрерывности растительного покрова позволяла в одном случае (дискретность и монотетический характер классификации растительности по доминантам) делать сравнительно «неполные» описания фитоценозов (указание доминирующих в сообществе видов и некоторых их ближайших «спутников»), в другом (непрерывность и политетические методы) – учитывать весь флористический состав. Иными словами, сторонники разных концепций на одном и том же участке будут «видеть» различные свойства растительности и по-разному отражать их в описаниях.

Если фиксировать t , G , R , F и Q , то выше приведенные соотношения (9.1) примут следующий вид:

$$P = f_1^*(T, S), \quad S = f_2^*(T, \alpha) \quad \text{или} \quad P = f_1^*(T, f_2^*(T, \alpha)).$$

Пусть предстоит провести опыт со случайными исходами, который будет состоять в следующем. На площадке размером S проводится геоботаническое описание, в результате которого из общего числа видов n (кон-

¹ В этом контексте интересным представляется факт проверки **И. Ньютоном** опытов по дифракции света, когда он «не увидел» дифракционных полос в области центральной тени, обнаружение которых нанесло бы сильный удар по его корпускулярной теории света. Комментируя эту «ненаблюдательность» блестящего экспериментатора, один из создателей волновой теории света **О. Френель** приходит к выводу о том, что она связана с теоретическим предубеждением Ньютона, «не пожелавшего» заметить явление, которое ослабляло его теорию [Мамчур, 1975].



Ньютон Исаак
(Isaac Newton;
1643-1727) –
британский
математик, физик,
алхимик, историк.



Френель
Огюстен Жан
(Augustin-Jean
Fresnel;
1788-1827) –
французский
физик.

кретная флора как показатель гамма-разнообразия) будет зарегистрировано $k \leq n$ видов. Будем считать, что каждый вид может присутствовать на данной площадке равновероятно, т. е. $p_i = p$ (это является условием гомогенности сообщества). Таким образом, элементарным событием будет обнаружение вида i на площадке размером S . Тогда вероятность обнаружения более k видов на площадке S из n возможных в данном типе растительных сообщества будет удовлетворять *распределению Бернулли* (аналогичная схема применена, например, и в работе [Godron, 1971]) и запишется в следующем виде:

$$P = \sum_{j=k+1}^n C_n^j \cdot p^j (1-p)^{n-j}, \quad \text{где} \quad C_n^j = \frac{n!}{j!(n-j)!}. \quad (9.3)$$

Б.С. Флейшманом [1971, с. 207] получены следующие оценки биномиальных сумм:

$$\sum_{j=0}^k C_n^j \cdot p^j (1-p)^{n-j} \begin{cases} \leq \exp[-\varphi(\frac{k}{n}, p)n], & \text{при } \frac{k}{n} < p, \\ \geq 1 - \exp[-\varphi(\frac{k}{n}, p)n] & \text{при } \frac{k}{n} > p, \end{cases} \quad (9.4)$$

где $\varphi(x, y) = x \ln \frac{x}{y} + (1-x) \ln \frac{1-x}{1-y}$, для $0 \leq x, y \leq 1$. В этих обозначениях

величина k/n задает долю встреченных видов сообщества на площадке размера S , т. е. является пороговым значением при определении величины минимального ареала по кривой «число видов / площадь» (одним из рекомендуемых значений этой величины может быть $k/n = 0,8$ [Миркин, Розенберг, 1978]). Тогда неравенство (9.4) при $k/n < p$ задает условие для видов частой встречаемости, а при $k/n > p$ – для видов средней и редкой встречаемости. Отсюда, подставляя в (9.3) неравенства (9.4), в первом случае имеем:

$$P > 1 - \exp[-\varphi(\frac{k}{n}, p)n],$$



Бернулли Даниил
(Daniel Bernoulli;
1700-1782) –
швейцарский
физик,
математик,
академик
Петербургской
Академии наук.



Флейшман Бенцион Семёнович [Шимонович]
(г.р. 1926) –
отечественный
математик,
системолог.

т. е. при условии, что $p > k/n$ и стремлении $n \rightarrow \infty$ вероятность P встретить на площадке размером S более k видов будет стремиться к 1. Таким образом, размер площадки S должен подбираться из условия $p \geq k/n$. Сформулируем характер зависимости p от S .

Пусть p – это вероятность встретить вид на площадке S . Тогда вероятность встретить вид на площадке $S + \Delta S$ будет $p + \Delta p$. Можно предположить, что Δp будет прямо пропорционально величине ΔS (приращению площади), вероятности отсутствия вида на данной площади S (вероятности $1 - p$) и некоторой функции гамма-разнообразия $\gamma(n_S)$, задающей скорость изменения флористического состава сообщества при переходе от одного типа растительности к другому:

$$\Delta p = \gamma_0 \cdot \gamma(n_S) \cdot (1 - p) \cdot \Delta S ,$$

где γ_0 – некоторый коэффициент пропорциональности. Переходя к пределу при $\Delta S \rightarrow 0$, получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dp}{dS} = \gamma_0 \cdot \gamma(n_S) \cdot (1 - p) ,$$

из которого легко определяется зависимость вероятности встретить вид от площади описания:

$$p = 1 - \exp\{\gamma_0 \cdot \gamma(n_S) \cdot S\} , \quad (9.5)$$

Тогда из условия $p > k/n$ (9.5) получаем:

$$S \geq -\frac{\ln(1 - k/n)}{\gamma_0 \cdot \gamma(n_S)} . \quad (9.6)$$

Чтобы определить характер зависимости S от n_S , необходимо определить вид $\gamma(n_S)$. Поступим аналогичным образом: пусть $\gamma(n_S)$ – некоторая функция гамма-разнообразия, задаваемая числом видов n_S на определенной площади. Тогда, «переход» к другому типу растительности, флористически более богатому, можно представить как $n_S + \Delta n_S$, а это повлечет за собой и изменение $\gamma(n_S) + \Delta\gamma(n_S)$. Можно предположить, что $\Delta\gamma(n_S)$ будет прямо пропорционально «текущим» значениям $\gamma(n_S)$, а также величине Δn_S . Отсюда следует, что

$$\Delta\gamma(n_S) = b \cdot \gamma(n_S) \cdot \Delta n_S ,$$

где b – некоторый коэффициент пропорциональности. Переходя к пределу при $\Delta n_S \rightarrow 0$, получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\gamma}{dn_S} = b\gamma ,$$

решение которого дает интересующую нас зависимость:

$$\gamma(n_s) = \exp\{b \cdot n_s\}. \quad (9.7)$$

Подставляя соотношение (9.7) в неравенство (9.6), получаем

$$S \geq -\frac{\ln(1-k/n)}{\gamma_0} \cdot \exp\{-b \cdot n_s\}.. \quad (9.8)$$

Легко убедиться, что неравенство (9.8) с точностью до коэффициентов совпадает с эмпирической формулой (9.2) для определения размера пробной площади для описания пустынных, сухостепных и степных сообществ Монголии [Миркин, Розенберг, 1978б]. Однако, в отличие от эмпирической формулы, построенной на основе интуитивных представлений, последний результат является строго детерминированным и теоретически достоверным (при условии, естественно, справедливости гипотез, положенных в основу его вывода), а коэффициенты уравнения «наполнены» биологическим содержанием.

Коэффициент пропорциональности b можно определить из следующих соображений [Розенберг, 1989б; Розенберг и др., 1999, с. 242]. Фактически, он представляет собой отношение встреченного в данном описании числа видов (естественно, в среднем) к общему числу видов флоры данного типа растительности. **Р. Уиттекер** [1980] подробно рассмотрел 21 тип наземных биомов – экосистем, имеющих сходную структуру растительности и общих характер условий среды в глобальном масштабе. В **табл. 9.1** показаны те биомы, для которых можно было более или менее точно указать общее флористическое богатство [Толмачев, 1974; Жуковский, 1982]. Для части этих биомов имеются сведения и о средней видовой насыщенности в одном стандартном описании. Анализируя **табл. 9.1**, можно отметить одну особенность: практически для всех биомов величина коэффициента b оказывается очень устойчивой и изменяется в пределах 0,03-0,05. Косвенным подтверждением этого факта является и величина аналогичного коэффициента в эмпирическом уравнении экспоненциальной зависимости для значимости видов при описании разнообразия растительности западной Австралии [Lamont et al., 1977, p. 439]. Это позволяет принять величину $b = 0,04$.



**Уиттекер
Роберт**
(Robert Harding
Whittaker;
1920-1980) –
американский
эколог, ботаник,
фитоценолог.

Таблица 9.1

**Число видов сосудистых растений во флорах и в описаниях
основных биомов**

| Биомы | Число видов | | <i>b</i> |
|---|-------------|------------|-----------|
| | во флоре | в описании | |
| 1. Тропические дождевые леса | 10 000 | | |
| 2. Тропические сезонные леса | 8000 | | |
| 3. Тропические широколиственные леса из невысоких деревьев (церадо, миомбо) | 4000 | | |
| 4. Вечнозеленые леса умеренной зоны (субтропики) | 3000 | 160 | 0,05 |
| 5. Полупустынные кустарники теплого климата (теплые полупустыни) | 2200 | 60 | 0,03 |
| 6. Листопадные леса умеренной зоны | 1500 | 40 | 0,03 |
| 7. Тайга (субарктические или субальпийские хвойные леса) | 1000 | 30 | 0,03 |
| 8. Холодные полупустыни | 1000 | | |
| 9. Злаковники умеренной зоны (степи, вельды, пампасы, прерии) | 800 | 25 | 0,03 |
| 10. Альпийские луга | 600 | | |
| 11. Настоящие пустыни | 500 | | |
| 12. Тундра | 400 | 15 | 0,04 |
| 13. Аркто-альпийские полупустыни | 200 | | |
| 14. Аркто-альпийские пустыни в условиях крайне холодного климата | 40 | 1-2 | 0,03-0,05 |

Коэффициент пропорциональности γ_0 призван в какой-то степени «уравновесить» экспоненциальное влияние на Δp функции разнообразия $\gamma(n_s)$. Условия нормирования позволяют допустить изменение произведения $\gamma_0 \cdot \gamma(n_s)$ от 0 до 1 при изменении среднего числа видов в описании от 1 до 100 (в эту ситуацию «падают» все биомы от 4 до 14 из табл. 9.1, т. е. от субтропиков до холодных арктоальпийских пустынь). Учитывая, что при $b = 0,04$ из уравнения (9.7) имеем $\gamma(100) = e^4 = 54,6$, определяем $\gamma_0 = 0,02$. Подставляя эти коэффициенты в уравнение (9.8), получаем окончательное соотношение:

$$S \geq -\frac{\ln(1 - k/n)}{0,02} \cdot \exp\{-0,04 \cdot n_s\} \dots \quad (9.9)$$

Для иллюстрации работоспособности соотношения (9.9) оценим величину $\bar{p} = k/n$ в ряде работ по количественной классификации растительных сообществ (цель Q) в различных типах растительности (см. табл. 9.2).

Таблица 9.2

Теоретическое значение доли встреченных видов (\bar{p}) в одном описании площади S для различных геоботанических объектов, которые были классифицированы с помощью количественных методов

| Тип растительности | Размер площадок (м x м) | \bar{p} (%) | n | Авторы* |
|---|-------------------------|---------------|-----|-----------------------------------|
| Сосновый лес (Карелия) | 0,33 x 0,33 | 1,0 | 26 | Г.Г. Герасименко, 1977 |
| Луга горно-лесной зоны (Башкирия) | 0,33 x 0,33 | 0,4 | 14 | Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг, 1977 |
| Засоленные марши (Великобритания) | 0,5 x 0,5 | 1,2 | 39 | J.A. Lee, 1977 |
| Хвойные леса восточной части Каскадных гор (США) | 0,5 x 0,5 | 1,6 | 32 | R. Moral, D. Deardorff, 1977 |
| Каменистые степи Средней Чехии | 0,5 x 0,5 | 1,2 | 27 | M. Pivničková, 1973 |
| Болотная растительность (Нидерланды) | 1,0 x 1,0 | 4,0 | 165 | D.H. Vitt, N.G. Slack, 1975 |
| Пустоши и луга Нидерландов | 3 x 2 | 27,4 | 34 | M. Werger, 1973 |
| Верещатники открытых приморских утесов (Великобритания) | 3 x 3 | 30,3 | 78 | F.B. Goldsmith, 1973 |
| Растительность юго-западного побережья оз. Эри (Канада) | 5 x 2 | 48,4 | 59 | G. Bradfield, L. Orloci, 1975 |
| Тугайные леса Средней Азии | 5 x 5 | 86,9 | 21 | Б.М. Миркин, С.Н. Сагитов, 1971 |
| Степи северо-восточного Хангая (МНР) | 10 x 10 | 99,6 | 107 | Р.Ш. Кашапов и др., 1975 |
| Незасоленные марши Египта | 14 x 14 | 100 | 56 | M.A. Ayyad, 1976 |
| Саванны Центральной Африки | 25 x 10 | 100 | 80 | G. Bouxin, 1975 |
| Злаковники национальных парков Канады | 91 x 61 | 100 | 292 | P.W. Stringer, 1973 |

* – Библиографию работ см. в обзоре [Миркин, Розенберг, 1979].

Анализ этой таблицы позволяет сделать вывод о практически полном отсутствии планирования размеров пробных площадей для заданной цели (в этом конкретном случае – для классификации растительных сообществ): 80% видов учтено только при классификации растительности тугайных лесов Средней Азии. В остальных случаях, либо размеры пробных площадей явно занижены (например, для первых 6 объектов **табл. 9.2** каждое описание несет информацию о менее 5% видов растительных сообществ, что не позволяет считать результаты классификации достоверными; справедливости ради отмечу, что при изучение луговой растительности горно-лесной зоны Башкирии задачей исследования была не классификация растительности, а анализ микрогруппировок – иная цель исследования Q продиктовала и другой размер площадок), либо площадки слишком велики, что сделало геоботаническое исследование экономически неэффективным. В последнем случае, для учета в описании 80% видов по формуле (9.9) можно рекомендовать следующие размеры площадок:

- для степной растительности Монголии – 6 х 6 м,
- незасоленных маршей Египта – 2,5 х 2,5 м,
- для саванн Центральной Африки – 3 х 3 м,
- для злаковников Канады – 6 х 6 м (в этом случае эффективность исследования может быть повышена более чем в 150 раз!).

Еще один пример – флористическая классификация растительных сообществ солонцеватых степей Башкирского Предуралья, выполненная **Д.Н. Карповым** [1985] на основании описаний 366 площадок размером 2 х 2 м. В рецензии на эту работу **В.Б. Голуб** [1986, с. 976] указывает, что «такая площадь недостаточна для характеристики ксерофитных фитоценозов... и выбранная площадь 4 м² далека от минимального ареала выявления



Карпов Даниэль Николаевич
(г.р. 1945) –
отечественный
фитоценолог,
эколог.

Голуб Валентин Борисович
(г.р. 1946) –
отечественный
фитоценолог,
эколог.

основных черт растительного сообщества». По формуле (9.9) для учета в описании 80% видов (из данных Карпова следует, что в среднем в одном описании встречается 10 видов, т. е. $n_s = 10$) размер площадок должен быть 7 х 7 м, т. е. более чем в 10 раз больше. Кстати, и сам Голуб в аналогичных условиях флористической бедности травянистых сообществ дельты р. Волги строит флористическую классификацию также на основе описаний растительности на площадках 2 х 2 м

[Голуб, 1985; Golub, Mirkin, 1986], хотя для $n_s = 25$ и $\bar{p} = 0,8$ размер площадки по формуле (9.9) оценивается как 5 x 5 м. Правда, определенным оправданием «заниженных» размеров пробных площадок при флористической классификации растительности может выступать элемент прагматизма [Миркин, 1987], связанный с тем, что диагностирующие синтаксоны виды составляют менее половины всех встреченных видов, т. е. $\bar{p} = 0,5$ (тогда планируемый размер площадок для Карпова – 5 x 5 м, а для Голуба – 3,5 x 3,5 м). При этом более или менее пропорционально снижается постоянство видов, что в малой степени сказывается на результате классификации – это позволяет говорить об известной устойчивости результата флористической классификации к размеру пробных площадок [Денисова, Акьюлова, 1987].

Подчеркну, что все эти примеры иллюстрируют лишь нижнюю оценку планируемого размера площади описания, связанную с гамма-разнообразием, т. е. для данной вероятности \bar{p} нельзя планировать площадь описания меньше, чем задает неравенство (9.9). Кроме того, это неравенство получено для условия гомогенной растительности, т. е. представляет собой «еще более нижнюю» оценку площади описания S с заданной точностью \bar{p} . Однако условия гомогенности растительных сообществ (в частности, равновероятность присутствия видов в любой точке сообщества) сформулированы довольно жестко и практически редко можно встретить растительность, которая им бы соответствовала [Dagnelie, 1968; Василевич, 1972]. Естественно, что более реалистичными выглядят представления о разной значимости видов [Уиттекер, 1980], которые чаще всего формализуются геометрическим рядом, логнормальным распределением и пр. (см. раздел 2.3). Таким образом, для уточнения зависимости числа встреченных видов от площади описания условие $p_i = p$, на основании которого записано равенство (9.3), следует заменить соответствующим законом распределения.

Зависимость числа встреченных видов от размера площади описания сообщества, т. е. зависимость с альфа-разнообразием, исследовалась (в частности, в фитоценологии) несравненно более часто, чем связь с гамма-разнообразием (см., например: [Макарова, 1983]). Не ставя своей задачей «переоткрытие» этих законов или вывод каких-то новых соотношений, возьму за основу взаимосвязи альфа-разнообразия (числа видов в растительном сообществе) и размера площади описания уравнение, получившее как преимущество при экспериментальном сравнении с другими зависимостями [Макарова, 1983], так и достаточно твердую «дедуктивную основу» [Немченко, Суханов, 1986], что весьма важно при построении теории в экологии:

$$n_s = \frac{N_{\max}^T \cdot c \cdot S}{1 + c \cdot S}, \quad (9.10)$$

где n_s – среднее число видов на пробной площади размера S , встреченных хотя бы один раз, N_{\max}^T – предельное число видов в сообществе для данного



**Пуассон
Симеон-Дени**
(Siméon-Denis
Poisson;
1781-1840) –
французский
математик,
физик.

типа растительности T , c – математическое ожидание показательной плотности распределения численности популяции во времени (в модели предполагается, что входящие в сообщество виды слабо взаимодействуют друг с другом, распределены в пространстве в соответствии с *законом Пуассона* и устойчивое стационарное состояние сообщества наблюдается лишь в среднем²).

Зависимость (9.10) можно переписать в обратном виде:

$$S = \frac{n_s}{c \cdot (N_{\max}^T - n_s)} = \frac{\bar{p}}{c \cdot (1 - \bar{p})}, \quad (9.11)$$

где $\bar{p} = n_s / N_{\max}^T$ – доля встреченных видов на площадке размера S . Тогда, объединяя представления о зависимости площади описания как от альфа-, так и от гамма разнообразия, запишем

$$S = S_\gamma + S_\alpha \geq -\frac{\ln(1 - \bar{p})}{0,02} \cdot \exp\{-0,04 \cdot n_s\} + \frac{\bar{p}}{c \cdot (1 - \bar{p})}. \quad (9.12)$$

где S_γ задается соотношением (9.9), а S_α – (9.11). График-схема зависимости (9.12) показан на **рис. 9.1** [Розенберг, 1989б; Розенберг и др., 1999, с. 242]. Для того, чтобы на практике пользоваться соотношением (9.12), необходимо оценить параметр c ; в **табл. 9.3** представлены такие оценки для различных типов сообществ.

Итак, процесс формирования эмпирического базиса экологии, по-видимому, бесконечен (точнее, для наземной экологии ограничен существованием планеты Земля), что связано как с уникальностью каждой экосистемы (в силу её сложности), так и с изменчивостью её компонент под воздействием меняющихся экологических факторов. Системологический *принцип множественности моделей* (см. глава 1, раздел 5) также накладывает свои особенности на объём исходной экологической информации (для конкретной модели может потребоваться дополнительная информация, что неизбежно увеличивает объём эмпирического базиса).

² Эти предположения также характеризуют гомогенную растительность со всеми, рассмотренными выше, недостатками.

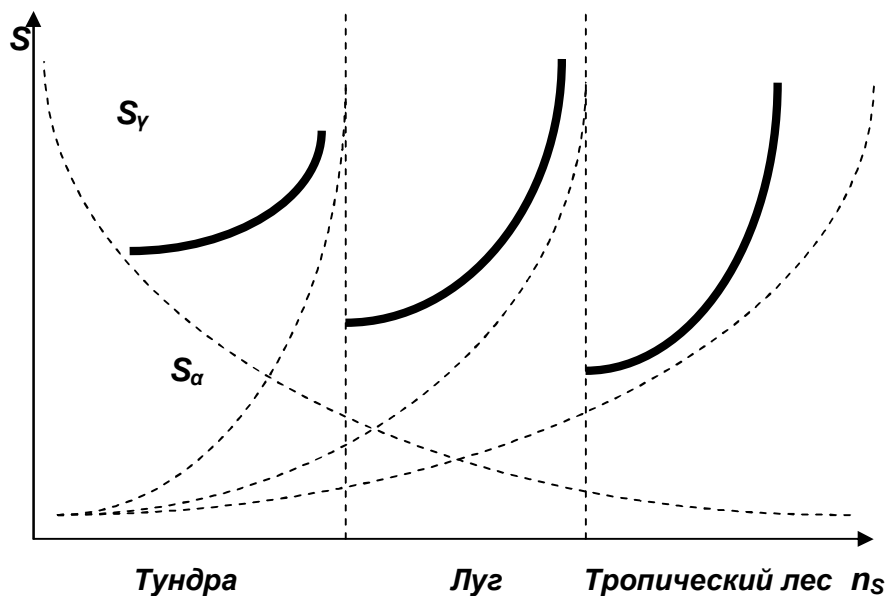


Рис. 9.1. График-схема зависимости площади описания S от n_s для различных типов растительности

Таблица 9.3

Оценки некоторых параметров соотношения (9.12) для различных геоботанических объектов

| Тип растительного сообщества | Источник информации | N_{\max}^T | c | S_{\max} |
|---|---|--------------|----------------------|------------------|
| Кедрово-широколиственный лес | [Немченко, Суханов, 1986] | 40 | 1,4 | 4 |
| Сегетальное сообщество | [Минибаев, 1961; Минибаев и др., 1971] | 15 | 2,0 | 15 |
| Райграсовое пастбище (<i>Lolieto-Cynosuretum typicum</i>) | [Ellenberg, 1978; цит. по: [Вальтер, 1982] | 25 | 1,8 | 64 |
| Осочник (<i>Curvuletum typicum</i>) | [Braun-Blanquet, Jenny, 1926; цит. по: [Воронов, 1973, с. 40] | 35 | 0,5 | 100 |
| Луговое сообщество | [Hopkins, 1955] | 45 | 0,2 | 100 |
| Черничный тип леса (<i>Myrtillustyp</i>) | [Ivessalo, 1922; цит. по: [Воронов, 1973, с. 40] | 35 | 0,1 | 250 |
| Первичный тропический лес | [Drees, 1954; цит. по: [Воронов, 1973, с. 322] | 150 | 0,003 | 2500 |
| Флора земли Вюртемберг (Германия) | [Макарова, 1983] | 1500 | $0,08 \cdot 10^{-6}$ | $500 \cdot 10^6$ |

2. Идеализированный объект

Теории различаются, прежде всего, положенными в их основу *идеализированными объектами* [Гайденко, 1986]. Так, в классической (евклидовой) геометрии – это точка, прямая; классическая (ньютоновская) механика основана на идеальных объектах с отсутствием трения; в специальной теории относительности – это абстрактное псевдоевклидово четырехмерное пространство-время при условии отсутствия поля тяготения; в квантовой электродинамике – система гармоничных осцилляторов, колебания которых подчинены квантовым законам [И. Кузнецов, 1967]. «Образом такого идеализированного объекта предполагаемой биологической теории может быть представление о "начале" биологического движения материи» [Болтенков, 1997, с. 127]...



В своей интересной, но, на мой взгляд, несколько эклектичной работе по системологии, **С.Н. Гринченко** [2004, р. 470-471] приводит обширную цитату **С.Г. Кордонского** [2001] о некоторых «предельно идеализированных "теоретических мирах"». Под таковыми последний понимает миры периодической таблицы химических элементов [Менделеев, 1958], структурной химии и кристаллографии [Е. Фёдоров, 1949], молекулярной генетики вирусов [Агол, 1974], гомологические ряды в наследственной изменчивости [Вавилов, 1920] и пр. К этому можно добавить еще ряд исследований общеприродного и экологического характера, в которых создаются свои периодические «теоретические миры» [Заварзин, 1969, 1974; Розенберг, 2000б; Багоцкий, 2006; Попов, 2008]. Так, **Г.А. Заварзин** [1974, с. 46], исходя из представлений о том, что «полезно осознание того факта, что систематизируются не прообразы, объекты реального мира, а наши представления о них», и используя идеализированные объекты таких наук, как биохимия, генетика, иммуноло-

гия, цитология (78 признаков, разбитых на 13 групп для диагностики родов бактерий), осуществил полный перебор этих признаков, «отсеял» те комбинации, которые не выдержали проверку на совместимость, и структурировал совокупность родов бактерий в новые таксоны. Более того, в работе сделаны предсказания о существовании ещё не описанных таксонов бактерий и определена совокупность признаков, которыми они могут быть описаны. Идеализированные объекты использовал и я [Розенберг, 2000б, 2002а]: в частности, *метод проверки случайности колебаний временных рядов* (глава 2, раздел 3) опирается на идеализированные конструкции «поворотная точки типа максимума (минимума)» или *вероятностная модель достижения экосистемой климаксового состояния* (пример 5.3.6) использует идеализированные представления о тех или иных законах распределения вероятности «успеть подготовиться к катастрофе».

Здесь вполне уместно привести без комментариев пространную цитату **Н. Рашевского** [Rashevsky, 1938; цит. по: Моровиц, 1968, с. 41-42]: «Следуя основному методу физико-химических наук, мы не пытаемся дать математическое описание какой-либо конкретной клетки во всей её сложности (если шире – любого биологического объекта. – Г.Р.). Мы начинаем с исследования в высшей степени идеализированных систем (*курсив мой. – Г.Р.*), которые могут не иметь никаких прямых аналогов в реальной природе. Этот момент следует особо подчеркнуть. Против такого подхода можно выдвинуть возражение, что подобные системы не имеют никакой связи с действительностью и что поэтому никакие заключения относительно таких систем не могут быть перенесены на реальные системы. Тем не менее, именно этот подход применяли и всегда применяют в физике. Физик занимается детальным математическим исследованием таких нереальных вещей, как "материальные точки", "абсолютно твердые тела", "идеальные жидкости" и т. п. *В природе подобных вещей не существует.* Однако же физик не только изучает их, но и применяет свои выводы к *реальным вещам (курсив автора. – Г.Р.)*. И что же? Такое применение ведет к практическим результатам – по крайней мере, в известных пределах. Все дело в том, что в этих пределах реальные вещи имеют свойства, общие с воображаемыми идеальными объектами! Только сверхчеловек мог бы охватить в математическом аспекте сразу всю сложность реального предмета. Мы, обыкновенные смертные, должны быть



**Рашевски
Николас**
(Nicolas
Rashevsky;
1899-1972) –
отечественный,
американский
биофизик,
математик.

скромнее, и нам следует подходить к реальности асимптотически, путем постепенного приближения».

Как и в различных разделах теоретической физики, выбор идеализированного, «основного» объекта экологии крайне затруднен. Так, только в фитоценологии (одном из разделов общей экологии), на сегодня существует не меньше десяти различных объектов (реальных и абстрактных), которые, так или иначе, претендуют на эту роль (см. табл. 9.4).

Аналогичная трудность проблемы выбора наблюдается и при определении идеализированного, «основного» объекта экологии (см. выше глава 1, раздел 3), где наряду с понятием «экосистема» [Одум, 1986, т. 1, с. 24] имеют хождение и другие понятия («сообщество» [Риклефс, 1979, с. 331; Уиттекер, 1980, с. 70], «биогеоценоз» [Сукачев, 1942; Работнов, 1983, с. 8]), которые, по мнению исследователей, могут претендовать на роль «основных» объектов в экологии. Мне представляется, что в главе 1 выполнен достаточно подробный сравнительный анализ этих понятий (см. табл. 1.1) с использованием «структурных формул», которые позволили единообразно представить сравниваемые понятия.

Таблица 9.4

Сравнение некоторых фитоценологических и внутрифитоценологических функциональных элементов для определения «основного» объекта фитоценологии (см.: [Розенберг, 2002a])

| Объект, претендующий на роль «основного» в фитоценологии | Определение | Структурная формула* |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Растительность (по А.П. Шенникову) Растительный покров (по А.А. Ниценко) | Часть растительного покрова, состоящая только из растительных сообществ. | $V = \bigcup_{i=1}^n PH_i ;$ U – знак объединения |
| Растительность (по А.А. Ниценко, В.И. Василевичу) Растительный покров (по А.П. Шенникову) Интегральная (комплексная) фитоценологическая система (по В.Б. Сочаве) | Любая совокупность растений на какой-либо площади (включает растительные сообщества и агрегации). | $VEG = \bigcap_{i=1}^n PH_i + \bigcap_{j=1}^m AG_j =$ $= \bigcap_{i=1}^n (CY + SIN + CEN + PH)$ ∩ – знак взаимодействия (пересечения) |

| 1 | 2 | 3 |
|--|---|--|
| Фитоценоз (по Б.Н. Норину) | В разной степени морфологически однородные территориальные выделы растительного покрова мезоразмера (фитоценотическая система, агрегация, однообразное чередование нескольких фитоценологических систем). | $TSP = \left\{ \bigcap_{i=1}^n PH_i + \bigcap_{j=1}^m AG_j \right\};$ <p>TSP – территориальный выдел растительного покрова; {...} – обозначение морфологической однородности</p> |
| Растительное сообщество (фитоценоз; по Б.М. Миркину) | Условно ограниченный и однородный (на глаз) контур растительности, часть фитоценологического континуума. | $PH = TSP \in PH.cont$ <p>PH.cont – фитоценологический континуум; \in – знак отношения</p> |
| Растительное сообщество (фитоценоз; по Б.Н. Норину) | Система ценомов, эдификаторные растения которых относятся к одному виду или к ценологически родственным видам и при этом образуют синузию (систему синузий). | $PH = \bigcap_{i=1}^n CEN_i (ED \in SIN);$ <p>ED – вид-эдификатор</p> |
| Ценоячейка (по В.С. Ипатову) | Группа растений, принадлежащих к одному морфологическому ярусу, которые имеют индивидуальные топические непосредственные взаимодействия с центральным растением. | $CY = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^m T(S_{ij}^m \in S);$ <p>CY – ценоячейка, S_{ij}^m – особь j вида i яруса m, S – центральное растение</p> |
| Синузия (по Х. Гамсу, Т. Липпмаа) | Одноярусная, ценологическая система; элементами являются не отдельные растения, а ценоячейки, системообразующими отношениями которых служат топические взаимодействия, достигающие порога ценологических влияний. | $SIN = T\left(\bigcap_{i=1}^n CY_i\right) < R;$ <p>R – порог ценологических влияний</p> |
| Ценом (по В.С. Ипатову) Ценоячейка (по В.И. Василевичу) | Фитоценологическая система из растения верхнего яруса со всеми растениями нижних ярусов в его фитоценологическом поле. | $CEN = F(S^{m+1} + S_{ij}^m)$ |

| 1 | 2 | 3 |
|--|---|--|
| <p>Агрегация (по В.Н. Сукачеву)</p> <p>Группировка растений (по Б.М. Миркину)</p> | <p>При зарастании растительностью незанятого участка вначале фитоценоза нет, так как между растениями нет борьбы за существование и нет между ними сколь-нибудь ясно выраженного взаимного влияния.</p> | $AG = \bigvee_{i=1}^n S_i ;$ <p>\bigvee – объединение растений без конкурентных отношений</p> |

* Структурные формулы (см. главу 1, раздел 3) в данном контексте представляют собой символическую запись определений с использованием некоторых математических символов и буквенных обозначений; к этой таблице можно «добавить» и данные из главы 8, раздел 6.

| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| <p>Шенников Александр Петрович (1888-1962) – отечественный геоботаник, ботаник; чл.-корр. АН СССР.</p> | <p>Ниценко Андрей Александрович (1910-1970) – отечественный ботаник, фитоценолог.</p> | <p>Сочава Виктор Борисович (1905-1978) – отечественный ботаник, географ, геоботаник; академик АН СССР.</p> | <p>Норин Борис Николаевич (1924-2000) – отечественный ботаник, фитоценолог.</p> |
|  |  |  |  |
| <p>Миркин Борис Михайлович (г.р. 1937) – отечественный ботаник, фитоценолог, эколог.</p> | <p>Ипатов Виктор Семёнович (г.р. 1930) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог.</p> | <p>Гамс Хельмут (Helmut Gams; 1893-1976) – австрийский эколог, ботаник, геоботаник.</p> | <p>Липпмаа Теодор (Theodor M. Lippmaa; 1892-1943) – эстонский эколог, ботаник, геоботаник.</p> |
| | | |  |
| | | | <p>Сукачев Владимир Николаевич (1902-1982) – отечественный ботаник, эколог, геоботаник, лесовед; академик АН СССР.</p> |

Рассмотрим еще одно определение «биогеоценоза» [Галицкий, Тюрюканов, 1981], которое, как отмечают сами авторы, существенно отличается от определения В.Н. Сукачева (уже по этой причине за данным термином следовало бы закрепить какое-то другое название). В наших обозначениях структурная формула этого определения будет иметь следующий вид:

$$(B_i \cap E_i) \in F[\cup_{j \neq i} (B_j \cap E_j)] \rightarrow St ,$$

где B – биоценоз, E – экотоп, i -й биогеоценоз определяется экоценоотическими факторами F всех окружающих его биогеоценозов и характеризуется естественным развитием в сторону единого стационарного (или квазистационарного) состояния St , соответствующего набору растительных и животных видов в конкретном регионе; \cap и \cup – знаки для описания взаимодействия и объединения объектов. Естественно, что область пространства, заданная экоценоотическими факторами F , может рассматриваться как подобласть общей области S , причем, чем больше факторов F будет учтено, тем более «сблизятся» эти два пространства. Что касается стационарного состояния St , то оно представляет собой климаксовое состояние биогеоценоза, т. е. с известными оговорками может характеризоваться достаточно совершенной структурой и оптимальным круговоротом веществ (см.: [Миркин, 1985, с. 89]). Отсюда следует, что это определение «биогеоценоза» [Галицкий, Тюрюканов, 1981] также является «узким» по сравнению с «экосистемой» **Ю. Одума**.

Наконец, совсем недавно в дискуссию об основном объекте экологии вступил **С.А. Остроумов** [2002, с. 571-572] и предложил следующим образом модернизировать понятия «экосистема» и «биогеоценоз»:

- экосистема – комплекс взаимосвязанных живых существ, обитающих на определенном участке или в определенном объеме, вместе со средой их обитания и взаимодействиями между собой и со средой; характеризуется описанием численности (обилия) конкретных видов, связей между видами, активности организмов, физических и химических характеристик среды, потоков вещества, энергии и информации, а также описанием изменений этих показателей во времени;



Одум Юджин
(Eugene Pleasants
Odum; 1913-2002) –
американский
эколог.



Остроумов
Сергей Андреевич
(г.р. 1949) –
отечественный
гидробиолог, эколог.

- биogeоценоз – совокупность на известном протяжении земной или водной поверхности природных составляющих компонентов (атмосферы, горной породы, растений, животных, мира микроорганизмов и грибов, почвы и гидрологических условий; донных отложений в случае водных систем), имеющая свою особенную специфику взаимодействий слагающих ее компонентов и определенный тип потоков вещества, энергии и информации, обладающая определенной степенью единства (объединенности компонентов, целостности) и подверженная изменениям во времени; организмы обычно содействуют формированию среды обитания или влияют на нее.

В принципе, эти уточненные (модифицированные) определения демонстрируют тенденцию к «слиянию» понятий «экосистема» и «биogeоценоз», что следует только приветствовать.

Подводя итог этому краткому сравнению, отмечу, что все рассмотренные объекты являются системами взаимодействующих биоценологических и экотопических составляющих и различия наблюдаются лишь в определении границ этих систем в природе. Конкретизация границ экосистемы (кстати, сам Одум решает эту проблему путем задания значений среды на входе и выходе системы в её описании в терминах круговорота вещества и потока энергии; [Одум, 1986, т. 1, с. 27]) во многом зависит от целей исследования. С другой стороны, точное задание границ, например, биogeоценоза, подразумевает разделение непрерывного по своей природе пространства экоценологических факторов на своеобразные дискретные «соты» [Галицкий, Тюрюканов, 1981], что является отражением организменных аналогий в противовес континуальным представлениям об экологических объектах [Миркин, 1985, 2005; Миркин, Наумова, 1998].

Все это заставляет, повторю еще раз фразу из главы 1, рассматривать «экосистему» в определении Ю. Одума как основной, идеализированный объект экологического исследования.

3. Система фундаментальных понятий

Выбор идеализированного объекта, как уже отмечалось, индуцирует введение целой *системы фундаментальных понятий*, специфических для каждой теории. Общий список понятий современной экологии очень велик – только монографии энциклопедического характера [Быков, 1988; Дедю, 1990; Реймерс, 1990; Миркин, Наумова, 2003, 2010] включают до 8 тыс. понятий, «теоретических конструкций», методов, терминологический аппарат прикладной экологии и пр. При этом собственно к экологическим понятиям можно отнести не более 20% от общего списка «языка экологии». Категорий-

но-понятийный аппарат экологии не создавался одномоментно, это был (и ещё остается) очень длительный и трудный процесс [Большаков и др., 1996]. Экологические понятия, во-первых, должны быть увязаны в единую сбалансированную понятийную систему и, во-вторых, «синхронизированы» с категориями и понятиями, имеющимися в смежных разделах науки; а так как экология, в самом широком плане, претендует на роль «науки обо всём», то сложность выделения системы фундаментальных понятий очевидна.

Естественно, в рамках одной монографии практически невозможно охватить всё многообразие тонкостей и деталей всех экологических понятий и категорий, поэтому далее я остановлюсь лишь на собственно фундаментальных экологических понятиях, без которых невозможно четко отграничить предмет науки экологии от других дисциплин. За основу понятийного аппарата я взял свою с коллегами монографию, в которой имеется «Предметный указатель» [Розенберг и др., 1999, с. 379-383]. Всё многообразие экологических понятий удалось свести (по принципу того, как строятся определения: «*ценопопуляция* – это *популяция* в пределах сообщества» или «*сукцессия* – постепенные необратимые... *изменения* состава и структуры сообществ» [Миркин и др., 1989, с. 176]) в семь основных групп³; при этом жирным шрифтом выделено 21 понятие (нравится мне это число...), которое и может составить один из вариантов системы фундаментальных понятий современной экологии:

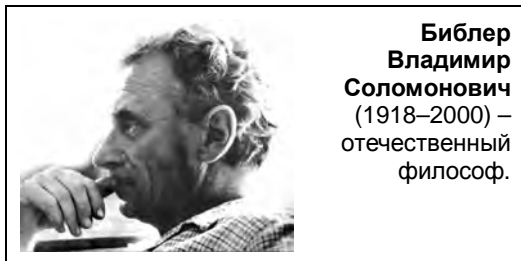
- **местообитание** (фактор экологический, градиент комплексный);
- **популяция** (агрегация, ценопопуляция);
- **взаимодействие популяций** (отбор естественный, симбиоз, **конкуренция**, аменсализм, нейтрализм, паразитизм, **хищничество**, комменсализм, протокооперация, **мутуализм**, кооперация, аллелопатия);
- **экосистема** (сообщество, биогеоценоз, биом, **биосфера [ноосфера]**, ценом, ценоячейка, синузия, консорция, гильдия);
- **структура экосистем** (биоценоз, **ниша экологическая, формы жизненные, стратегия эколого-ценотическая [ЭЦС], разнообразие, континуум**, зональность [вертикальная, горизонтальная, географическая], цепь трофическая);
- **динамика (изменение) экосистем** (флуктуации, эволюция сообществ, **коэволюция, сукцессия** [эндоэкогенез, сингенез, гейтогенез, гологенез],

³ Первый абзац этого раздела, в известной степени, – «страховочный», так как сложность экологических объектов и множественность целей их математического описания накладывают свои ограничения на конечный список фундаментальных экологических понятий. Однако мне представляется, что «ядро» этих понятий в данной системе охвачено (тем более что все эти 21 понятие широко используются как в отечественной, так и в англоязычной научной экологической литературе).

климакс, устойчивость, развитие устойчивое, **адаптация**, круговорот веществ в биосфере);

- **продукция экосистем** (пирамида [чисел, биомасс, продуктивности], энергия биогенная).

Как показал **В.С. Библер** [1975], современные научные понятия (даже фундаментальные) являются *понятиями-проблемами*: зачастую, они не



столько решают те или иные задачи теории и практической деятельности, сколько, напротив, ставят эту деятельность под вопрос, выводя её к вечным, принципиально неразрешимым вопросам бытия человечества – «что есть истина?» [Евангелие от Иоанна,

18:38]. Данные понятия включают в себя историю своего формирования, выступая как нескончаемый диалог старого и современного типов видения мира, диалог различных логик и культур. Не являются исключением и фундаментальные экологические понятия (я уже демонстрировал продолжающийся процесс «поиска» идеализированного «основного» объекта экологии; см. раздел 3 в главах 1 и 9). Поэтому, на современном этапе развития теоретической экологии представляется оправданным *определить систему фундаментальных экологических понятий путем соглашения* (может быть не столь строгого, как знаменитая конвенция Шуры Балаганова...) и «аксиоматизировать» её.

4. Процедуры измерения

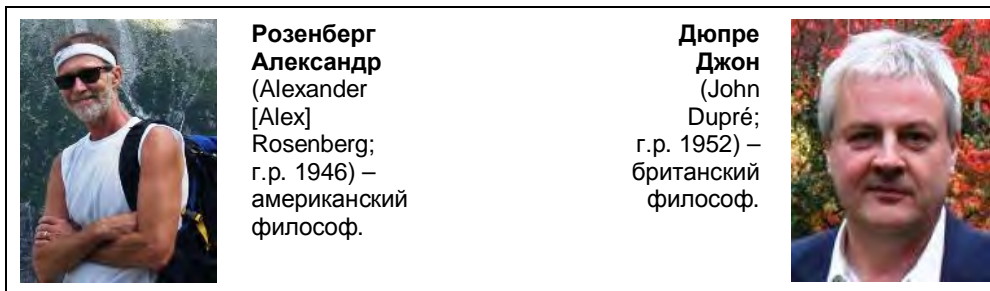
*Я теперь считаю так:
меры нет.
Вместо меры наши мысли,
заключенные в предмет.*
Даниил Хармс,
«Измерение вещей»,
17-21 октября 1929 г.
(Хармс, 1988, с. 76).

*Шел по улице отряд -
сорок мальчиков подряд:
раз, два, три, четыре,
и четырежды четыре,
и четыре на четыре,
и потом еще четыре.*
Даниил Хармс,
«Миллион», 1930 г.
(Хармс, 1988, с. 239).

Современные подходы к моделированию экологических объектов основаны на предположении, что все рассматриваемые переменные и параметры могут быть в принципе измерены. В этом экологи следуют за представителями классической физики, по словам **В.А. Фока** [1976, с. 9-10], «предполагая, что всегда можно "подсмотреть" явление, не вмешиваясь в него и не влияя на него. Правда, если "подсматривать" физический процесс (*как и экологический*. – Г.Р.) с разных точек зрения (и соответственно описывать его в разных системах отсчета), то вид его будет различным... Пренебрежение этим обстоятельством представляет собой абстракцию, которую можно назвать *абсолютизацией* физического процесса (*выделено автором*. – Г.Р.). Если её принять, то становится возможным рассмотрение физических процессов как происходящих самих по себе, вне зависимости от того, существует ли принципиальная возможность их наблюдения». По сути дела, – это «*физикалистский*» (см. главу 1) подход к изучению сложных систем. Для экологических объектов наиболее важны сложные характеристики (устойчивость, разнообразие и пр.), измерение которых путем «подглядывания» вряд ли возможно.



Фок Владимир Александрович
(1898-1974) –
отечественный
физик-
теоретик;
академик
АН СССР.



Именно такой точки зрения придерживается и мой однофамилец – **А. Розенберг** [Rosenberg, 1994], который утверждает, что в то время как физика и химия развивают свою теорию, биология обречена быть практической, инструментальной дисциплиной. Причины этого он видит и в сложности биологии как научной дисциплины, и в её стохастической основе, и в ограниченности редукционизма как метода исследования. В одной из рецензий на эту работу [Dupré, 1995, p. 283], книга названа «апологией расстроенного редукциониста». А потому мне ближе точка зрения именно **Д. Дюпре**, который считает «инструментальный характер» биологического знания моего однофамильца проявлением механистической метафизики.

Значение термина «измерение» не вполне однозначно. Традиционно измерение в узком смысле трактуется как операция, в результате которой получается численное значение величины, причем числа должны соответствовать наблюдаемым свойствам, фактам, качествам, законам науки и т. д. «Измерить, значит установить однозначное (гомоморфное) отображение эмпирической реляционной структуры в числовую реляционную структуру» (*реляционная структура* – это множество объектов вместе со всеми отношениями и операциями на нем [Суслов и др., 2005, с. 25]). Измерения в широком смысле понимаются как получение, сравнение и упорядочение информации, что подразумевает наличие некоей системы «эталонов», по которой предполагается смысловая оценка анализируемых объектов на основании интенсивности измеряемых свойств [Розенберг и др., 2008, с. 174]. Измерение – это процесс моделирования реальности [Stevens, 1946, 1950; Стивенс, 1960; Толстова, 1998], что «позволяет привести к единому основанию разнородные подходы к измерению, с единой точки зрения (построения адекватной модели реальности) – взглянуть на весьма разнородные результаты» [Масленников, 1999, с. 144].

Потребность в точном измерении окружающих предметов уходит вглубь веков и связана, по-видимому, с возникновением земледелия и первых орудий труда. Тысячи лет мир мерил всё и вся шагами, локтями, шкурками, раковинами и пр. Уже первые письменные источники, найденные в Двуречье,

содержат и первые единицы мер. Первоначально, единицами измерения служили размеры частей человеческого тела (пядь, локоть), размеры окружающих человека предметов, расстояние, которое мог бы пройти человек за день, и т. д. Индейцы мерили путь дневными переходами, у финнов была мера «пенникуулума» (равная, примерно, 10 км – на таком расстоянии охотники слышали собачий лай), у тибетцев была в ходу мера пути, определяемая расстоянием, при прохождении которого чашка горячего чая остывала настолько, что её можно было выпить... Еще сравнительно недавно (в XIX в.) в России яйца мерили лукошками, молоко – кринками. Но яйца кринками не продавали; кринка – мера не всякого товара, а только для молока. Самым древним английским эталоном является бронзовый ярд времён короля **Генриха I**. Известно несколько вариантов легенд появления этой меры. По одной из них, ярд – это расстояние от кончика носа Генриха I до конца пальцев вытянутой в сторону руки; по второй версии, ярд равнялся окружности талии короля, по третьей – длине его меча. При этом английский ярд, доживший до наших дней, более чем за 800 лет изменился всего на 0,04 дюйма, то есть на 1,016 миллиметра. Всё это были единицы не универсальные, а просто удобные в быту [Исаков, 1923; Каменцева, Устюгов, 1975; Артамонова, 1998; М. Волков, 2005].



Генрих I
(Henry I
Beauclerc;
1068-1135) –
король Англии
и герцог
Нормандии.

Первые важные шаги по созданию всеобщей системы мер связаны с именами **Ж. Пикара**, **О.К. Ремера**, **С. Пудловского**⁴, **Т.Л. Бураттини**⁵ (кстати, именно он ввел понятие «метр» в своей книге 1675 г. "Универсальная мера" ["Misura universale"]), **Г. Мутона**⁶ (предложил десятичную основу для метрологических систем), **Х. Гюйгенса** и др. А практически через сто лет (26 марта 1791 г.), Учредительным Собранием Франции был принят проект метрической системы мер. Естественно, знакомя читателя с самым кратким списком тех, кто, так или иначе, внес вклад в становление теории измерений, нельзя не назвать и нашего великого соотечественника – **Д.И. Менделеева**,

⁴ **Пудловский Станислав** (Stanisław Pułowski; 1579-1645) – польский математик, физик, астроном, правовед.

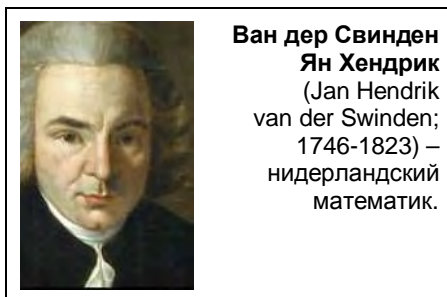
⁵ **Бураттини Тит Ливий** (Tito Livio Burattini [] 1617-1681) – итальянский, польский философ, механик, архитектор, географ, египтолог, дипломат.

⁶ **Мутон Габриель** (Gabriel Mouton; 1618-1694) – французский астроном, богослов.

который последние 15 лет своей жизни заведовал Главной палатой мер и весов России. Именно он является автором крылатой фразы: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры» [Менделеев, 1950, с. 26].



Прежде чем перейти к рассмотрению некоторых аспектов измерения в рамках экологической теории, приведу еще высказывание **Я.-Х. Ван дер Свиндена** – одного из членов Международной комиссии, работавшей в Париже в 1798 г. и утвердившей прототипы метрической системы: «Для создания истинно философской системы мер, которая была бы достойна просвещенного века, нельзя допустить ничего, что не покоилось бы на новых основаниях, что не связано теснейшим образом с предметами неизменными, ничто, что могло бы впоследствии времени зависеть от людей и от событий. Надо обра-



тнуться к самой природе, почерпнув основу системы мер в её недрах, и суметь найти в ней же способ проверки» (цит. по: [Исаков, 1923, с. 7]).

В соответствии с представлениями о содержательном (физическом) подходе к созданию теоретической экологии (см. [И. Кузнецов, 1967; Розенберг, 1984, 1991б, 2003а, 2005а]), существенными элементами «основания» теории будут процедуры измерения фундаментальных величин этой теории и правила действия над ними. К сожалению, именно этим элементам в экологических исследованиях уделялось меньше всего внимания.

В настоящее время теория и техника измерений оказались в эпицентре «информационного взрыва» [Суппес, Зинес, 1967; Пфанцагль, 1976; Ор-

лов, 1978; Толстова, 1998, Мурашкина и др., 2007 и др.]: проблеме измерений посвящен большой и все возрастающий поток публикаций, созданием и использованием средств измерений занимаются многочисленные специалисты, большие научные и производственные коллективы. Относительно новым и быстро развивающимся разделом теоретической метрологии является общая теория измерений, приобретающая особую важность в связи с усложнением, автоматизацией и компьютеризацией измерений, решением новых метрологических задач в производстве и, в том числе, в области точного приборостроения. Известный афоризм – «нет ничего практичнее хорошей теории»⁷ – превратился в констатацию полезности теории измерений, способствующей повышению достоверности измерительного эксперимента.

В самостоятельные разделы теории измерений выделились *теория измерительных процедур*, *теория обработки экспериментальных данных при измерениях*. На этих разделах базируется и *теория моделирования измерительных систем* (в большей степени является разделом измерительной техники). Поэтому далее я остановлюсь только на некоторых аспектах теории измерительных процедур и обработки результатов измерений.

«Зависимость состояния конкретной науки от качества измерений настолько жесткая, что точными мы называем именно те науки, в которых с позиций потребностей сегодняшнего дня решена проблема измерения» [Митропольский, 1985, с. 3]. Эта цитата свидетельствует о том большом значении, которое сегодня придается измерениям, так как процесс развития любой нау-

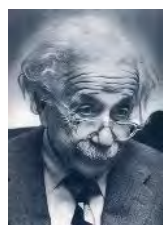
⁷ Чаще всего, этот афоризм приписывается физикам: либо **Г. Кирхгофу**, либо **Л. Больцману**; любили его повторять и **А. Эйнштейн**, и **М. Планк**, и **Н.Н. Боголюбов**, и...



Кирхгоф Густав
(Kirchhoff Gustav Robert; 1824-1887) – немецкий физик.



Больцман Людвиг
(Boltzmann Ludwig; 1844-1906) – австрийский физик; чл.-корр. Петербургской академии наук.



Эйнштейн Альберт
(Albert Einstein; 1879-1955) – немецкий физик, лауреат Нобелевской премии (1921 г.), иностранный чл.-корр. РАН, иностранный почётный академик АН СССР.



Планк Макс
(Max Karl Ernst Ludwig Planck; 1858-1947) – немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1918 г.).



Боголюбов Николай Николаевич
(1909-1992) – отечественный математик, физик-теоретик; академик АН СССР и РАН.

ки идет в направлении от менее точного уровня к более точному, теоретическому. Что же следует называть «измерением» в экологических исследованиях?

Прежде всего, с математической точки зрения, *измерением* называется операция установления взаимно однозначного соответствия множества объектов и символов (как частный случай – чисел). Символы (числа) приписываются вещам по определенным правилам. Правила, на основании которых числа приписываются объектам, определяют *шкалу измерения*.

Несколько видоизменяя и конкретизируя определение **В.Н. Котова**⁸ [1985, с. 7], можно дать следующее толкование: *измерение* – *приписывание различным проявлениям некоторого свойства экологических систем действительных чисел с целью познания этого свойства*. При этом, производя измерение (приписывая, например, показателю биоразнообразия или устойчивости экосистемы действительные числа), мы тем самым невольно приписываем измеряемому показателю и свойства самих чисел (самое очевидное – свойство их аддитивности). Естественно, что такой упрощенный подход отражает лишь одну («простую») сторону сложных экологических систем.

Новая системная методология заставляет с иных позиций подходить и к выбору системных параметров исследуемых сложных объектов, и к процедурам измерения, и к формированию связывающих их законов. Ранее [Розенберг, 1984; Брусиловский, 1987; Розенберг, Мозговой, 1992; Розенберг и др., 1999] было введено различие между простыми и сложными (системными) свойствами сложных объектов. *Целостные характеристики отличаются от простых ярко выраженной неаддитивностью*. Так, биомассу некоторого растительного сообщества можно узнать путем взвешивания и суммирования веса каждого растения. Однако, в противоположность вещественно-энергетическим параметрам (простым характеристикам) экосистем, при создании экологической теории необходимо уделять большее внимание системным параметрам (например, целостности, замкнутости, биологическому разнообразию, устойчивости и др.).

Введение в разряд формализуемых дисциплин биологических наук (в том числе и экологии), экономики, социологии заставило, как уже отмечалось, использовать числа для измерения совершенно новых и необычных свойств (сходство, разнообразие, устойчивость) и широко использовать нетрадиционные (негеометрические и нефизические) шкалы (например, шкалы порядка и наименований). На этом пути сразу возникло большое количество неверного, неадекватного измерения экологических величин. В качестве примеров назову:

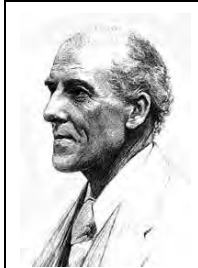
⁸ **Котов Виктор Николаевич** (г.р. 1947) – отечественный, украинский гидробиолог.

- индексы фитоценотической значимости видов, определяемые путем произведения фитомассы на проективное покрытие или на встречаемость и потому не имеющие ни физического, ни экологического смысла (см.: [Понятовская, Сырокомская, 1960; Миркин, Розенберг, 1983, с. 37]);
- попытки напрямую увязать биоразнообразие, измеряемое по **Шеннону**, с устойчивостью экосистем, что неправомерно в силу математических свойств этого показателя, также выбранного неадекватно поставленной задаче [Свирижев, Логофет, 1978, с. 11-14; Левич, 1980, с. 51];
- бурную дискуссию 70-х годов прошлого века о преимуществах измерения сопряженности видов с помощью коэффициентов корреляции **Пирсона**, **Коула**⁹ [Cole, 1949, 1954], **Дайса** [Dice, 1945] и пр. (см. [Миркин, Розенберг, 1978б]), которая продемонстрировала необходимость каждый раз учитывать область применения того или иного измеряемого показателя сопряженности.

В основе процедур измерения и правил действия над измеряемыми экологическими параметрами (теория измерений) лежит несколько понятий и принципов [Котов, 1985]. Так, различают *эмпирическую систему отношений* (например, конкурентоспособность популяции проявляется в ее взаимодействии в пространстве с другими популяциями) и *числовую систему отношений*, с помощью которой можно вычленить из всех числовых свойств те, которые позволят приспособить их для изучения и измерения интересующего свойства (показателя). Измерить свойство (показатель) – это поставить ему в соответствие некоторое число так, чтобы если объекты вступают в эмпирические отношения, то их числовые образы должны вступать в соответствующие числовые отношения. При этом *цель измерения не в том, чтобы приписать свойству (показателю) то или иное число, а чтобы извлечь из этих чисел информацию об этом свойстве (показателе)*. Иными словами, отношения должны быть *адекватными* и *инвариантными* (если температура



Шеннон Клод
(Claude Elwood Shannon; 1916-2001) – американский математик, кибернетик, инженер.



Пирсон Карл
(Karl Pearson; 1857-1936) – британский математик, биолог, философ-позитивист.



Дайс Ли
(Lee Raymond Dice; 1887-1977) – американский зоолог, эколог.

⁹ **Коул Ламонт** (Lamont C. Cole; ?) – американский эколог.

кипения воды выше температуры замерзания, то это должно отражаться в разных шкалах – Цельсия, Кельвина, Реомюра и пр.). Наконец, результаты измерений в дальнейшем подвергают математической обработке, что неиз-



бежно требует введения *адекватных функций от результатов измерений* (одна и та же функция, в зависимости от множества допустимых преобразований частной числовой шкалы, в одних случаях может нести информацию о действительности и быть совершенно бессмысленной в других; например, использование для оценки сопряженности коэффициента корреляции для выборок разного эколого-фитоценологического диапазона [Миркин, Розенберг, 1978б; Миркин, 1985]). В этом случае можно говорить об *адекватном моделировании*.

В прогностических экологических исследованиях широко распространено описание и моделирование систем в количественных шкалах (отношений или интервалов). Вместе с тем, зачастую результаты исследования формируются в шкалах наименований. Так, при описании динамики млекопитающих (цит. по: [Брусиловский, 1987]), в модели фигурируют переменные, измеряемые в количественных шкалах (численность популяции), результаты же моделирования и прогнозы описываются в терминах переменных, измеряемых в шкале наименований (в такие-то годы произойдет вспышка численности, а в такие-то – нет).

В экологии, как правило, точность наблюдений и достоверность выводов в шкалах наименований (например, при работе с бинарными данными) выше, чем в количественных шкалах. Поэтому часто имеет смысл описывать, измерять и предсказывать параметры экосистем сразу в шкалах наименований, минуя промежуточный этап исследований в количественных (годы сильного «цветения» водохранилищ, вспышек численности популяций вредителей и пр.).

Часто, мнения экспертов выражены в порядковой шкале (т. е. эксперт может сказать [и обосновать], что один показатель более важен, чем другой, первый более опасен, чем второй, и т. д.). Но он не в состоянии сказать, во сколько раз или на сколько более важен, соответственно, более опасен тот или иной показатель. Экспертов часто просят ранжировать (упорядочить) объекты экспертизы, т. е. расположить их в порядке возрастания (или убывания) интенсивности интересующей организаторов экспертизы характеристики [Орлов, 2002]. Ранг – это номер (объекта экспертизы) в упорядоченном ряду. Формально ранги выражаются числами 1, 2, 3, ..., но с этими числами нельзя делать привычные арифметические операции (вряд ли кто-либо будет утверждать, что знания отличника равны сумме знаний двоечника и троечника [хотя $5 = 2 + 3$], а между отличником и троечником такая же разница, как между хорошистом и двоечником [$5 - 3 = 4 - 2$]). Поэтому очевидно (на это особо указывает **А.И. Орлов** [2002]), что для анализа подобного рода качественных данных необходима другая теория («другая арифметика»), дающая базу для разработки, изучения и применения конкретных методов расчета, – это, фактически, и есть *репрезентативная теория измерений* (РТИ; [Суппес, Зинес, 1967; Орлов, 2002; Мурашкина и др., 2007]), которая понимает измерения в *широком смысле* (см. начало этого раздела). Одним из основоположников РТИ считается **С. Стивенс**, который основное внимание уделял шкалам измерения [Stevens, 1946, 1950; Стивенс, 1960].

В соответствии с РТИ при математическом моделировании реального явления или процесса следует, прежде всего, установить, в каких типах шкал измерены те или иные переменные. Тип шкалы задает группу допустимых преобразований. Допустимые преобразования не меняют соотношений между объектами измерения. Например, при измерении длины переход от аршин к метрам не меняет соотношений между длинами рассматриваемых объектов – если первый объект длиннее второго, то это будет установлено и при измерении в аршинах, и при измерении в метрах.

Существуют следующие основные типы шкал: наименований, порядка, интервалов, отношений. Ряд специалистов выделяет также абсолютную



Орлов Александр Иванович
(г.р. 1949) – отечественный экономист, статистик, математик.

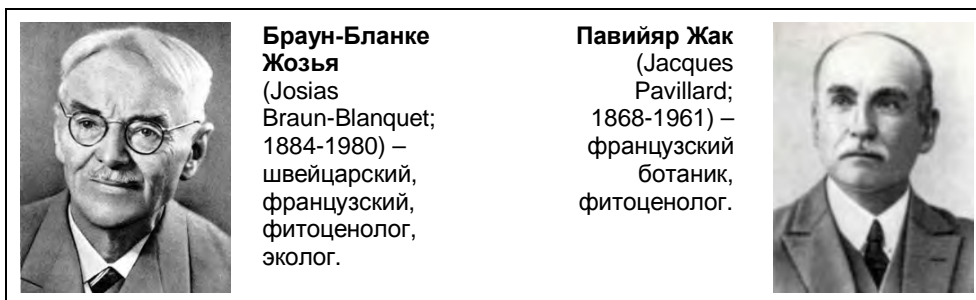


Стивенс Стэнли Смит
(Stanley Smith Stevens;
1906-1973) – американский психолог.

шкалу и шкалу разностей. Кратко рассмотрим особенности каждого типа шкал [Дружинин, 1994; Schneider, 1994, 1998, 2009; Толстова, 1998; Орлов, 2002; Суслов и др., 2005 и мн. др.].

Шкала наименований (другое название – *номинальная шкала, шкала низкого типа, качественная, нечисловая*) получается путем присвоения «имен» объектам. При этом нужно разделить множество объектов на непересекающиеся подмножества. О шкале наименований можно говорить в том случае, когда эмпирические объекты просто «помечаются» числом. Примером таких пометок являются номера на майках футболистов или номера паспортов. В принципе, вместо чисел при использовании шкалы наименований необходимо применять другие символы, ибо числовая шкала (натуральный ряд чисел) характеризуется разными системами операций.

Примером шкалы наименований в экологии может служить шкала жизненности (виталитета; англ. *scale of vitality*) – оценка процветания популяции вида в сообществе. В частности, в фитоценологии используется следующая 4-х балльная шкала (см.: [Миркин и др., 1989]), которая была предложена еще в 1922 г. **Ж. Браун-Бланке** и **Ж. Павийяром** (см.: [Westhoff, Maarel, 1973]):



1. – прорастание, но отсутствие развития вегетативных органов;
2. – ослабление с недостаточным вегетативным развитием и не прохождением всего жизненного цикла;
3. – хорошее вегетативное развитие, но не прохождение всего жизненного цикла;
4. – хорошее вегетативное развитие и прохождение всего жизненного цикла.

Исследователь, пользующийся шкалой наименований, может применять следующие инвариантные статистики: относительные частоты, моду, корреляции случайных событий, осуществлять классификации.

Шкала порядка образуется, если на множестве реализовано одно бинарное отношение – порядок (отношения «не больше» и «меньше»). Построение шкалы порядка – процедура несколько более сложная, чем создание

шкалы наименований. На шкале порядка объект может находиться между двумя другими, причем, если $a > b$, $b > c$, то $a > c$ (*правило транзитивности отношений*); соотношения $a > b$ и $b > a$ не могут выполняться одновременно (*правило антисимметричности*).

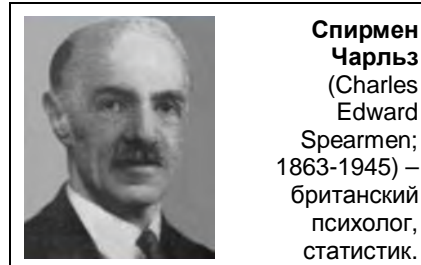
Шкала порядка позволяет ввести линейную упорядоченность объектов на некоторой оси признака. Тем самым вводится важнейшее понятие – *измеряемое свойство*, или линейное свойство, тогда как шкала наименований использует «вырожденный» вариант интерпретации понятия «свойство» (свойство есть – свойства нет).

Примером шкалы порядка может служить геоботаническая шкала **О. Друде** – оценка глазомерного учета обилия видов (точнее, не обилия, а проективного покрытия видов [Миркин и др., 1989]):

- soc. (лат. *socialis* – обильно) – растения смыкаются надземными частями;
- сор₃ (лат. *copiosae* – много) – растения очень обильны;
- сор₂ – растения обильны;
- сор₁ – растения довольно обильны;
- sp. (лат. *sparsae* – мало) – растения редки;
- sol. (лат. *solitariae* – очень мало) – растения единичны.

Субъективный (порядковый) характер этой шкалы вызывал её многочисленную критику (см.: [Шенников, 1964]). И главным недостатком является безмасштабность – для определения проективного покрытия лучше пользоваться оценками (шкалами), позволяющими вести контроль их суммированием.

В качестве характеристики центральной тенденции можно использовать *медиану*, а в качестве характеристики разброса – *процентили*¹⁰. Для установления связи двух измерений допустима порядковая корреляция (например, *коэффициент Спирмена*). Еще раз подчеркну, что число-



¹⁰ Процентиль распределения (термин был впервые использован в 1885 г.) – это такое число x_p , что значения p -й части совокупности меньше или равны x_p . Например, 25-я процентиль (также называемая *квантилью 0,25* или *нижней квантилью*) переменной – это такое значение (x_p), что 25% (p) значений переменной попадают ниже этого значения. Аналогичным образом вычисляется 75-я процентиль (также называемая *квантилью 0,75* или *верхней квантилью*) – такое значение, ниже которого попадают 75% значений переменной.

вые значения порядковой шкалы нельзя складывать, вычитать, делить и умножать.

Шкала интервалов (часто называют шкалой *высокого типа, количественной, числовой*) является первой метрической шкалой. Собственно, начиная с нее, имеет смысл говорить об измерениях в узком смысле этого слова – о введении меры на множестве объектов. Шкала интервалов определяет величину различий между объектами в проявлении свойства. С помощью шкалы интервалов можно сравнивать два объекта. При этом выясняют, насколько более или менее выражено определенное свойство у одного объекта, чем у другого.

Шкала интервалов очень часто используется исследователями-экологами. Классическим примером применения этой шкалы является измерение проективного покрытия (симметричные и асимметричные, равно дистанционные и неравно дистанционные шкалы). Замечу, что экологами рекомендуется отдавать предпочтение шкалам проективного покрытия с логарифмически возрастающими интервалами (причем, не более –5-балльных [Миркин и др., 1989]).

Шкала интервалов имеет масштабную единицу, но положение нуля на ней произвольно, поэтому нет смысла говорить о том, во сколько раз больше или меньше покрытие того или иного балла.

Интервальная шкала позволяет применять практически всю параметрическую статистику для анализа данных, полученных с её помощью. Помимо *медианы* и *моды* для характеристики центральной тенденции используется *среднее арифметическое*, а для оценки разброса – *дисперсия*. Можно вычислять *коэффициенты асимметрии* и *эксцесса* и другие параметры распределения. Для оценки величины статистической связи между переменными применяется *коэффициент линейной корреляции Пирсона* и т. д.

Шкала отношений – наиболее часто используемая в естественных науках шкала. По крайней мере, идеалом измерительной процедуры является получение таких данных о выраженности свойств объектов, когда можно ска-

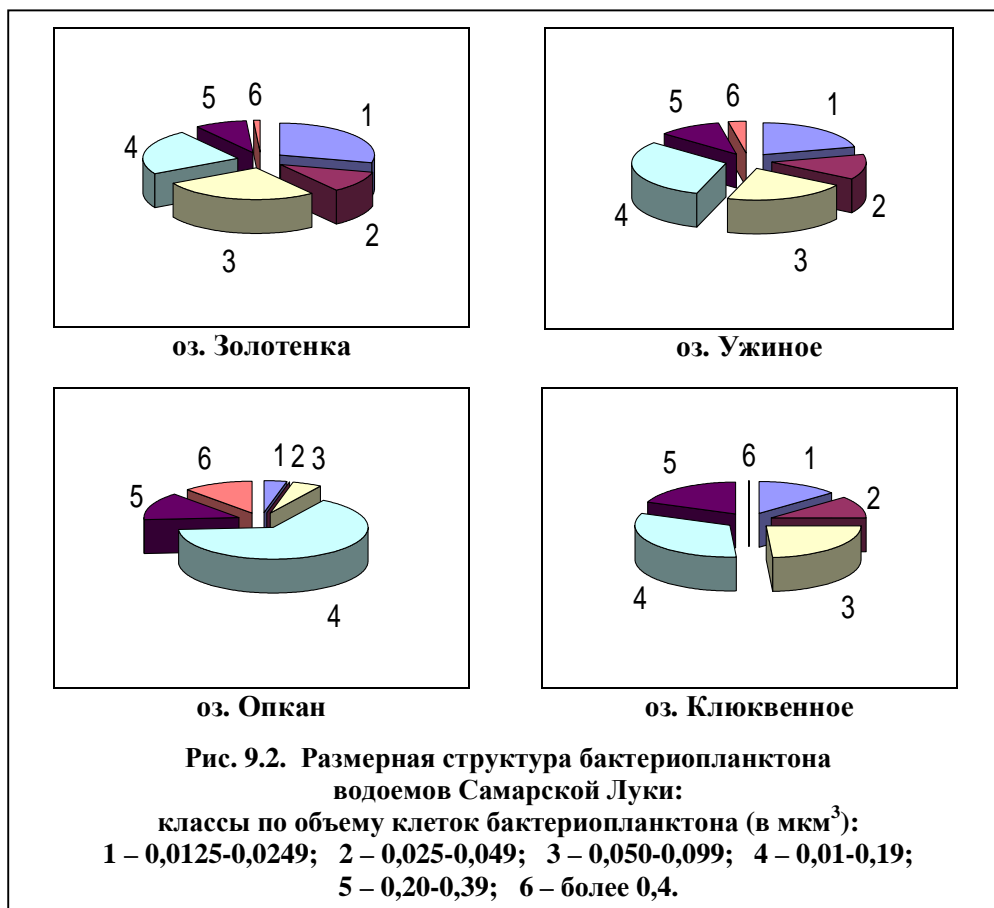
зать, во сколько раз один объект больше или меньше другого. Как подчеркивает **В.Н. Дружинин** [1994], это возможно лишь тогда, когда помимо определения равенства, рангового порядка, равенства интервалов известно равенство отношений. Шкала отношений отличается от шкалы интервалов тем, что на ней определено положение «естественного нуля».



**Дружинин
Владимир
Николаевич**
(1955-2001) –
отечественный
психолог.

Значения шкалы отношений инвариантны относительно преобразования вида: $x' = ax$. Значения шкалы можно умножать на константу. К ним применимы любые статистические меры.

В качестве примера шкалы отношений укажу на шкалу для определения размерной структуры бактериального сообщества, все клетки которого разделены на 6 классов со средним объемом клетки, изменяющимся вдвое от класса к классу (см.: [Жариков и др., 2007, с. 57, 59]). С помощью этой шкалы весьма наглядно демонстрируются особенности бактериальных сообществ водоемов заповедной территории Самарской Луки, различающихся морфометрическими характеристиками и разной степенью эвтрофирования (см. **рис. 9.2**). Замечу, что размерная структура бактериопланктона (соотношение клеток различных размеров [объемов] независимо от их формы) имеет большое значение для общей характеристики бактериопланктона, т. к. позволяет дать косвенную характеристику его функционального состояния и видового состава [Уманская, 2001; Жариков и др., 2007, 2009].



Только для **абсолютной шкалы** результаты измерений – числа в обычном смысле слова. Примером является число особей какого-нибудь вида на заданной территории. Для абсолютной шкалы допустимыми являются только тождественные преобразования.

В **шкале разностей** имеется естественная единица измерения, но нет естественного начала отсчета. Например, время измеряется и по шкале разностей, если год (или сутки – от полудня до полудня) мы принимаем естественной единицей измерения, и по шкале интервалов в общем случае. На современном уровне знаний естественного начала отсчета летоисчисления, например, указать нельзя (так, дату сотворения мира различные авторы рассчитывают по-разному, –7 октября 3761 г. до н. э. по календарю иудаизма, 23 октября 4004 г. до н. э. по оценке ирландского архиепископа **Дж. Ашера**, 25 мая 5493 г. до н. э. по Александрийской хронологии и пр. [Розенберг и др., 2003б]; да и точка отсчета – «наша эра» – подвергается сомнению, в частности, создателем «новой хронологии» **А.Т. Фоменко**...).

Большое число примеров разного рода шкал гидроэкологического характера (наименований, порядка, интервалов, отношений, разностей, абсолютных) подробно были рассмотрены ранее [Шитиков и др., 2005, т. 1, гл. 2 и 3] и здесь я не буду их приводить.

В процессе развития соответствующей области знания тип шкалы может меняться. Так, сначала температура измерялась по порядковой шкале (холоднее – теплее), затем – по интервальной (шкалы Цельсия, **Фаренгейта**, Реомюра), наконец, после открытия абсолютного нуля, температуру стали измерять по шкале отношений (шкала Кельвина). Надо отметить, что среди специалистов иногда имеются разногласия по поводу того, по каким шкалам следует считать измеренными те или иные реальные величины. Другими словами [Орлов, 2002], *процесс измерения включает в себя и определение типа шкалы (вместе с обоснованием)*. Аналогичной точки зрения придерживается и **Ю.Н. Толстова** [1998, с. 22]: «измерение, в конце концов, нужно не



Ашер Джеймс
(James Ussher
[Usher];
1581-1656) –
британский
священник.



Фоменко Анатолий
Тимофеевич
(г.р. 1945) –
отечественный
математик;
академик РАН.



Фаренгейт
Габриель Даниель
(Gabriel Daniel
Fahrenheit;
1686-1736) –
немецкий физик.



Толстова Юлиана
Николаевна
(г.р. 1942) –
отечественный
математик,
социолог.

само по себе, а именно для последующего изучения его результатов. И качество подходов к измерению должно оцениваться не в последнюю очередь с точки зрения возможности конструктивного определения того, что можно делать с этими результатами».

Еще один важный аспект РТИ связан с тем, что наряду с установлением типа шкалы осуществляется поиск алгоритмов анализа данных, результат работы которых не меняется при любом допустимом преобразовании шкалы (т. е. является инвариантным относительно этого преобразования).

Возможны два варианта шкальных преобразований [Орлов, 2002]:

- повышение мощности шкалы;
- понижение мощности шкалы.

Вторая процедура является тривиальной. Поскольку все возможные процедуры преобразований, которые приемлемы для более мощной шкалы (например, шкалы интервалов), допустимы и для менее мощной (например, шкалы порядка), то у нас есть право рассматривать данные, полученные с помощью интервальной шкалы, как порядковые или, допустим, порядковую шкалу – в качестве номинальной (например, в ряде фитоценологических классификационных процедур исследователь сознательно «уходит» от абсолютной шкалы или шкалы разностей к дихотомической шкале наименований «есть – нет»).

Другое дело, если по каким-либо соображениям у нас возникает потребность перейти от шкалы наименований к шкале порядка и т. д. Для этого требуется вводить необъективные (с позиций математической теории измерений) допущения и эмпирические приемы, базирующиеся лишь на интуиции и правдоподобных рассуждениях. Правда при этом, в большинстве случаев производится эмпирическая проверка: в какой мере данные, полученные с помощью «слабой» шкалы, удовлетворяют требованиям более «мощной» шкалы.

В серии работ **Д. Шнейдера** [Schneider, 1994, 1998, 2009 и др.] подробно рассматривается проблема «масштаб-зависимых» процессов или образцов (*scale-dependent patterns or processes*). Так, сила тяжести действует в любом пространственном масштабе, который мы хотим рассмотреть. Такой биологический процесс, как мутация, работает во временных рамках от секунд до тысячелетий и мы не можем говорить о том, что этот процесс специфичен для какого-то особого масштаба. Но мы можем указать на определенные интервалы времени и пространства, в которых процесс или



**Шнейдер
Дэвид**
(David
Clayton
Schneider;
г.р. 1949)–
канадский
эколог.

структура системы могут изменяться. Например, показатели плотности животных зависят от движения; некоторые демографические показатели (рождение, смерть) явно зависят от площади рассматриваемой территории и либо больше (для небольшой территории), либо меньше (для более крупных областей) темпов миграции через её границы; процесс затенения лесной растительности меняется как сезонном цикле, так и в результате, например, пожаров. Наконец, хорошо известен факт видоспецифичности масштабов пространства и времени (сукцессия для простейших протекает в течение минут и суток, для растительности – десятки и сотни лет).

Измерение средних величин. Рассмотрим самый простой пример – измерение и определение средней тенденции некоторой экологической характеристики [Розенберг и др., 1994; Розенберг, 2002а, 2007а; Шитиков и др., 2003, 2005].

В общем случае определение статистических характеристик случайной функции по экспериментальным данным представляет собой весьма сложную процедуру, состоящую из трех этапов: оценки стационарности функции, оценки характеристик ординат случайной функции и осреднения этих оценок. На практике при анализе временных рядов им приписывают свойство *эргодичности*, основанное на предположении о том, что единственная реализация случайной функции репрезентативной продолжительности является достаточным опытным материалом для получения её статистических характеристик. Другим свойством, которым должна обладать итоговая статистика, является *устойчивость*. Если при резком изменении малой доли количества данных (вследствие выбросов или других случайных искажений) значение статистической характеристики претерпевает существенные изменения, то такая статистика неустойчива.

Источники погрешностей измерения можно разделить на пять групп [Вознесенский, 1981; Розенберг и др., 2008, с. 174]:

1) *погрешности, вызванные объектом исследования*: изменение объекта во времени (смыв почвы, разложение органического материала, увеличение возраста особей и т. п.); неоднородность объекта в пространстве (влияние структурных особенностей материала в месте контакта измерительного датчика, отличия между наблюдательными площадками и т. д.); влияние процесса измерения на состояние объекта (изменение поведения или состояния животного в исследуемой популяции под влиянием наблюдения, стрессы при биофизических измерениях с вживленными датчиками и т. п.);

2) *погрешности оператора*, связанные с уровнем его квалификации (обучение, опыт, сознание ответственности) и психофизиологическим со-

стоянием (усталость, болезнь, возбуждение, торможение, реакция на внешние раздражители и т. п.);

3) *инструментальные погрешности*, связанные с погрешностями измерительных приборов и испытательных машин;

4) *методические погрешности*, связанные с ошибочными или упрощенными представлениями о закономерностях проявления некоторого свойства объекта, а также недостаточный уровень разработки методики проведения измерительных операций (отбор образцов, последовательность операций, обоснованность допусков, полнота учета факторов и ограничений на них, эффекты взаимодействия объекта с измерительным комплексом и т. д.);

5) *погрешности влияния внешней среды* (температура, осадки, солнечная радиация, радиоактивность и т. п.) на исследуемый объект и измерительную систему.

Качество исследования существенно определяется тем, насколько исследователю удастся устранить или компенсировать воздействие вышеуказанных источников погрешностей на результат измерения.

Среднее значение для стационарного временного ряда определяется как математическое ожидание любого индивидуального значения (ввиду стационарности это ожидание не зависит от момента наблюдения). В качестве оценки среднего используют обычно *выборочное среднее* значение ряда – сумму значений ряда, деленную на их общее число. При предположениях эргодичности эта оценка состоятельна, хотя при наличии сильной автокорреляции она теряет свою эффективность. **Арифметическое среднее** (при условии равномерного закона распределения) является примером неустойчивой статистики (если в данных изменится какое-нибудь одно значение на n единиц, то среднее изменится в том же направлении на n/m единиц, где m – объем выборки). В экологических исследованиях равномерность всех значений – редкое явление, и в этом случае рекомендуется использовать **средне-взвешенную среднюю** (фактически, этот показатель как «*элективное среднее*» использовал **Л.Г. Раменский** [1929]). Кроме того, для распределений слишком отличных от нормального (отдельные значения в выборке далеко отстоят от остальных значений), используют **геометрическое среднее**. В общем виде оценки математического ожидания стационарного ряда выглядят следующим образом (см.: [Розенберг и др., 1993]):

$$X_z = \sqrt[n]{\sum x(i)^z / n},$$



**Раменский
Леонтий
Григорьевич**
(1884-1953) –
отечественный
ботаник, эколог,
фитоценолог.

где $x(i)$ – i -я реализация величины X ($i = 1, n$). Тогда при $z = 1$ получаем среднюю арифметическую, $z = -1$ – среднюю гармоническую, $z = 2$ – среднюю квадратическую, $z = 0$ – среднюю геометрическую:

$$X_0 = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x(i)},$$

Легко убедиться, что имеет место *правило мажоритарности*:

$$X_{-1} < X_0 < X_1 < X_2.$$

Медиана временного ряда определяется как медиана распределения реализаций случайной функции в момент времени t , т. е. такое действительное число, вероятность превышения которого для произвольного измерения равна 0,5 (для стационарного временного ряда эта величина не зависит от момента наблюдения). Для оценки медианы используют выборочную медиану ряда, т. е. центральный член (либо полусумму центральных членов) последовательности измерений, упорядоченной по возрастанию. В случае симметричного (например, гауссовского) распределения теоретическое значение медианы совпадает со средним значением ряда, а выборочная медиана является альтернативной оценкой среднего значения. *Медиана служит примером устойчивой статистики*. На медиану не влияют величины «больших» и «малых» значений: она терпима к нарушениям нормальности на «хвостах» распределения. Однако кроме *робастности* (устойчивости) к *предпосылкам*, «хорошая» статистика должна обладать еще и свойством *робастности к эффективности*, т. е. высокая эффективность оценивания должна гарантироваться при широком варьировании ситуаций.

Если для определения средней тенденции требуется *робастность к эффективности*, то рекомендуется использовать более сложные статистики, например, *бивес-оценку* [Мостеллер, Тьюки, 1982]:

$$b = \frac{\sum \omega_i \cdot x_i}{\sum \omega_i},$$

где

$$\omega_i = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{x_i - b}{c \cdot \mu_s} \right)^2 \right]^2, & \text{если } \left(\frac{x_i - b}{c \cdot \mu_s} \right)^2 < 1; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

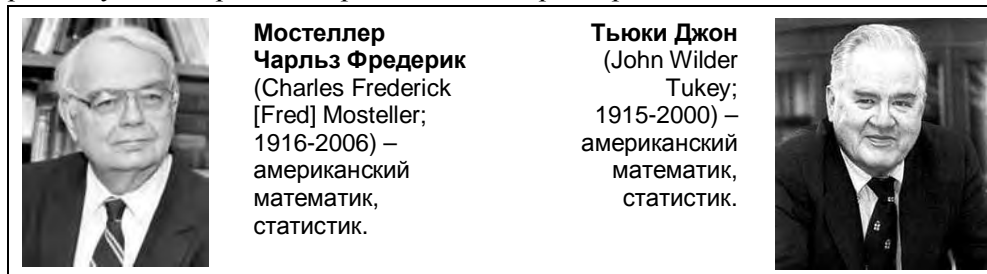
μ_s – медиана абсолютных отклонений $(x_i - b)$, c – константа, которая берется равной 6 или 9. Поскольку μ_s – оценка для примерно $2/3\sigma$, то при расчете *бивес-оценки* не учитываются «хвосты» нормального распределения, т. е. из-

мерения, превышающие 4σ (при $c = 6$) или 6σ (при $c = 9$). Так как мы не можем непосредственно вычислить b , не зная вектора весовых коэффициентов ω , и в то же время не можем найти веса, пока не знаем b , бивес-оценка рассчитывается по приведенным формулам с использованием итеративной процедуры.

Дисперсия динамического ряда определяется как дисперсия любого индивидуального значения (для стационарных рядов эта величина не зависит от момента наблюдения). Для его оценки используют обычно выборочную дисперсию ряда – сумму квадратов отклонений от среднего значения ряда, деленную на $(n - 1)$, где n – число значений ряда. При справедливости предположения об эргодичности эта оценка состоятельна, хотя при наличии сильной автокорреляции она теряет эффективность. Выборочные оценки среднего, медианы и дисперсии могут быть вычислены и для нестационарного ряда, но в этом случае они не имеют вероятностной интерпретации.

По результатам измерений вычисляется выборочная оценка s_3 среднеквадратичного отклонения ошибки эксперимента, которую иногда называют *среднеквадратичным отклонением ошибки воспроизводимости отклика* [Айвазян и др., 1983; Цейтлин, 2007] или просто «ошибкой эксперимента». Перед вычислением оценки s_3 необходимо исключить из ряда измерений $\{x(i)\}$ аномальные измерения (грубые погрешности, «промахи»), если они допущены. Поскольку даже опытному экспериментатору бывает трудно только на логическом уровне решить вопрос об аномальности того или иного результата, то рекомендуется [Цейтлин, 2007] использовать статистические критерии для проверки такой гипотезы.

Методы определения оценки s_3 ошибки эксперимента зависят от схемы организации этого эксперимента; достаточно подробно они рассмотрены в уже цитированной работе [Розенберг и др., 2008].



Ф. Мостеллер и **Дж. Тьюки** [1982, с. 214] приводят важную для практики таблицу свойств некоторых статистик центральной тенденции, которую имеет смысл здесь воспроизвести (см. далее **табл. 9.5**).

Анализ этой таблицы позволяет сделать вывод о том, что, если пренебречь совсем малыми выборками, бивес-оценка обладает всеми желаемыми свойствами и может быть рекомендована для практики. В ситуациях для дос-

таточно умеренной эффективности, а также при малых выборках, лучше работать с медианой. Среднее же нужно использовать достаточно осторожно, когда нет выбросов, «хвосты» распределения коротки и т. п. Таким образом, сложившаяся практика прогнозирования численности различных видов только с помощью среднего неадекватна реальной ситуации.

Таблица 9.5

Устойчивость и робастность к эффективности некоторых статистик центральной тенденции

| Статистика | Объем выборки | Устойчивость | Гауссова эффективность | Эффективность при разбросанных «хвостах» | Робастность к эффективности |
|------------------------|---------------|--------------|------------------------|--|-----------------------------|
| Арифметическое среднее | малый | нет | 100% | плохая | плохая |
| | большой | нет | 100% | очень плохая | очень плохая |
| Медиана | малый | да | высокая | достаточно высокая | высокая |
| | большой | да | 60% | достаточно высокая | умеренная |
| Бивес-оценка | малый | разумно | неплохая | достаточно высокая | высокая |
| | большой | да | 90% | 90% | высокая |

В табл. 9.6, в качестве примера, представлены результаты сравнения некоторых средних величин для временных рядов [Розенберг и др., 1994, с. 49], которые позволяют видеть существенное различие между средней и медианой для ряда численности каляноид, что объясняется существенной асимметрией распределения данных этого показателя. Наиболее близки оценки для повторяемости северного ветра (распределение этого показателя близко к нормальному). Значения бивес-оценки, как правило, «занимают» промежуточное положение между средней и медианой.

В прогностических экологических исследованиях широко распространено описание и моделирование систем в количественных шкалах (отношений или интервалов). Вместе с тем, зачастую результаты исследования формируются в шкалах наименований. Так, при описании динамики млекопитающих (цит. по: [Брусиловский, 1987]) в модели фигурируют переменные, измеряемые в количественных шкалах (численность популяции), результаты же моделирования и прогнозы описываются в терминах переменных, изме-

ряемых в шкале наименований (в такие-то годы произойдет вспышка численности, а в такие-то – нет).

Таблица 9.6

**Характеристики некоторых временных рядов,
полученных при исследовании Куйбышевского водохранилища
в районе Жигулевской ГЭС**

| Ряд | Среднее | Медиана | Бивес- оценка | Стандартная ошибка средней |
|---|---------|---------|------------------|----------------------------------|
| Суммарный расход воды (км ³ /год; 1957-1988 гг.; 384 набл.) | 20,2 | 16,6 | 16,4 | 12,37 |
| Повторяемость северного ветра (%; 1961-1988 гг.; 336 набл.) | 12,1 | 11 | 11,6 | 7,35 |
| Концентрация ионов аммония (NH ₄ ⁺) за вегетационный период май – октябрь (мкг/л; 1958-1988 гг.; 144 набл.) | 90,0 | 60 | 70,2 | 79,01 |
| Численность каляноид (Calanoida) за вегетационный период май – октябрь (тыс.экз./м ³ ; 1958-1984 гг.; 126 набл.) | 2,1 | 1,0 | 1,5 | 2,89 |
| Численность ротаторий (Rotatoria) за вегетационный период май – октябрь (тыс.экз./м ³ ; 1958-1984 гг.; 126 набл.) | 64,6 | 48,5 | 56,3 | 67,63 |

В экологии, как правило, точность наблюдений и достоверность выводов в шкалах наименований (например, при работе с бинарными данными) выше, чем в количественных шкалах. Поэтому часто имеет смысл описывать, измерять и предсказывать параметры экосистем сразу в шкалах наименований, минуя промежуточный этап исследований в количественных (годы сильного «цветения» водохранилищ, вспышек численности популяций вредителей и пр.).

Таким образом, прогнозы состояния экосистем, как уже отмечалось, могут строиться и в количественных, и в качественных шкалах одновременно. Можно сказать, что в таких ситуациях отдельные предикторы «разговаривают» на различных диалектах языка прикладной математики (представления **В.В. Налимова** [1979]). Но при этом одни из них никак не используются для повышения надежности других. Вопросам повышения надежности экологического прогнозирования и адекватности получаемых прогнозов посвящены монографии [Бру-



**Налимов
Василий
Васильевич**
(1910-1997) –
отечественный
математик,
философ.

силовский, 1987; Розенберг и др., 1994] и это – предмет специального рассмотрения.

Завершая этот небольшой экскурс в теорию измерений (РТИ), назову еще одну важную проблему – проблему адекватности в теории измерений [Толстова, 1979, с. 78]: «при обработке экспертных оценок важное значение имеет решение вопросов, связанных с корректностью применения математического аппарата к информации, полученной по различным шкалам». В какой-то степени эта проблема родственна оценке адекватности математических моделей (см. главу 6, раздел 1). Здесь можно рекомендовать исследователям также различать *собственно адекватность* измерения (качественная адекватность – инвариантность относительно допустимых преобразований рассматриваемой шкалы) и *праксеологичность* (количественная адекватность – для измерений достаточно высокого уровня [начиная с интервального]; см.: [Толстова, 1979, с. 82]). Подобное разделение обусловлено различиями используемых в РТИ шкал.

5. Правила действия над экологическими величинами

Начну с математики и физики. Система счисления – это способ представления чисел с помощью числовых знаков (цифр) и соответствующие ему *правила действия над числами*. Конкретные способы оперирования числами (действия над числами) многообразны; их основные группы – арифметические, алгебраические, статистические. Например, арифметические операции в двоичной системе счисления задаются следующим образом:

| Сложение | Вычитание | Умножение |
|--------------|--------------|-------------|
| $0 + 0 = 0$ | $0 - 0 = 0$ | $0 * 0 = 0$ |
| $0 + 1 = 1$ | $1 - 0 = 1$ | $1 * 0 = 0$ |
| $1 + 0 = 1$ | $1 - 1 = 0$ | $0 * 1 = 0$ |
| $1 + 1 = 10$ | $10 - 1 = 1$ | $1 * 1 = 1$ |

С помощью этой таблицы легко получить двоичное представление десятичных чисел. Таковы же, по своей сути, *правила действия над тригонометрическими функциями*.



Бомбелли Рафаэль
(Rafael Bombelli;
наст. фамилия:
Маццоли [Mazzoli];
1526-1572) –
итальянский
математик,
инженер-гидравлик.

В 1572 г. вышла книга **Р. Бомбелли** [Bombelli, 1929], в которой были установлены первые *правила арифметических операций над мнимыми (комплексными) числами* (хотя сами эти понятия появились значительно позднее), вплоть до извлечения из них кубических корней.

Эмпирические основания классической механики включают в себя *правила действия с векторными величинами, координатный метод описания движения тел, свободное падение тел, периодическое движение*. Таким образом, классическая механика потребовала введения дифференциального и интегрального исчисления.

Прежде всего, остановлюсь на шкалах измерений. Вслед за С. Стивенсом [Stevens, 1950; Стивенс, 1960; Толстова, 1998] буду отождествлять тип шкалы с совокупностью отвечающих ей допустимых преобразований (см. **табл. 9.7**), что позволяет поставить вопрос о сравнении введенных типов шкал.

Таблица 9.7

Допустимые преобразования шкал

| Тип шкалы | Отвечающие типу шкалы допустимые преобразования и их определение |
|--------------|---|
| Номинальная | Взаимно-однозначные $(x = y) = (f(x) = f(y))$ |
| Порядковая | Монотонно возрастающие $(x < y) = (f(x) < f(y))$ |
| Интервальная | Положительные линейные $f(x) = ax + b$; a, b – произвольные действительные числа, $a > 0$ |
| Разностей | Преобразования сдвига $f(x) = x + b$ |
| Отношений | Преобразования подобия $f(x) = ax$, $a > 0$ |
| Абсолютная | Тождественное $f(x) = x$ |

Назовем тип одной шкалы *более высоким*, чем тип другой, если совокупность допустимых преобразований первой шкалы включается в совокупность допустимых преобразований второй [Толстова, 1998, с. 181]. Ясно, что к более устойчивым (высоким) шкалам можно применять большее количество математических методов обработки. Если принять это определение, то между всеми типами шкал можно установить соответствующее отношение порядка (см. схему; более высокому типу шкал отвечает более высоко расположенный прямоугольник [Толстова, 1998, с. 182]):



Можно показать (и это неоднократно делалось; см., например, [Котов, 1985; Шитиков и др., 2005]), что все эти шкалы, в том или ином варианте, встречаются в экологических исследованиях. В частности, *шкала отношений* возникает при измерении биомассы сообщества (измерив веса организмов в килограммах, мы можем получить те же веса в центнерах, пудах, фунтах путем умножения первоначальных весов всех организмов одновременно на подходящий множитель; это и есть преобразование подобия). *Шкала разностей* получается, например, в том случае, когда у нас фиксируется единица измерения, но может изменяться начало отсчета. Например, в дендрохронологических работах принято даты формирования колец деревьев приводить в т. н. «дендро–годы» (между 1 г. н. э. и 1 г. до н. э. имеется еще и нулевой год; в «дендро–шкале» это нулевой год соответствует 1 г. до н. э. в григорианской системе счета времени, и далее все года до н. э. смещены на один год вперед [Хантемиров, 2009, с. 12]). Перевод совокупности возрастов какой-либо совокупности людей из одной системы расчетов в другую – это преобразование сдвига (например, в Монголии возраст любого человека определяется путем прибавления еще 9 месяцев [Котов, 1985]; учитывая, что у животных сроки беременности различны, то сдвиги могут быть различными).

Отсюда видно, что *правила действия над экологическими величинами* должны рассматриваться как своеобразный «язык» теории [Межжерин, 1974; Чебанов, 1983] и будут в большей степени определяться тем математическим аппаратом, который предполагается использовать для формализации известных и новых экологических законов и закономерностей. Естественно, при этом следует учитывать особенности фундаментальных экологических понятий. Так, действие экологических факторов на те или иные параметры попу-

ляций или экосистем, чаще всего, будет зависимым и нелинейным, что делает некоторые приёмы их математического описания неадекватным реальным экологическим объектам (надо с большой осторожностью относиться, например, к разного рода линейным регрессиям и балансовым соотношениям при описании сложных свойств экосистем; см. главу 1, раздел 4).

В соответствии с разделением параметров сложных экологических объектов на простые (аддитивные) и сложные (неаддитивные), соответствующие экологические величины, характеризующие эти параметры, также наделим свойствами аддитивности и неаддитивности (см. табл. 9.8).

Таблица 9.8

Простые и сложные параметры экологических объектов

| Параметры | Простые (аддитивные) свойства | Сложные (неаддитивные) свойства |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Популяция | | |
| биомасса | + | |
| плотность популяции средняя экологическая | + | |
| рождаемость максимальная | + | |
| реализованная | + | |
| смертность минимальная | + | |
| реализованная | + | |
| возрастной состав популяции (вектор) | + | |
| половая структура популяции (вектор) | + | |
| устойчивость | | + |
| адаптация | | + |
| живучесть | | + |
| минимальный размер жизнеспособной популяции | | + |
| Экосистема | | |
| биомасса | + | |
| продуктивность | + | |
| видовая структура (вектор) | | + |
| разнообразие | | + |
| спектр жизненных форм (вектор) | | + |
| соотношение «дискретность – непрерывность» | | + |
| устойчивость (климакс) | | + |
| целостность | | + |
| замкнутость | | + |

Глава 10



«ЯДРО» ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Либо вечно, либо невечно. Почти вечно не существует, оно есть простое невечно. Но явление почти невечно возможно, мы отнесем его к вечному. В наших устах оно прозвучит как только могущее совершиться, <о> е<сть> вечное, но могущее стать не вечным. Как только оно совершится, оно станет нашим уже не вечным. Но существует ли несовершившееся? Я думаю, в вечном – да.

Даниил Хармс,
Дневниковые записи (апрель-май, 1931 г.)
http://www.klassika.ru/read.html?proza/harms/xarms_diaries.txt&page=3

1. Экологические константы



Еще в 1902 г. в статье "О научном мировоззрении" **В.И. Вернадский** [1990, с. 181-182] писал: «Через **Пифагора** и пифагорейцев концепции музыки проникли в науку и надолго охватили её. С тех пор искание гармонии (в широком смысле), *искание числовых соотношений является основным элементом научной работы (выделено мной. – Г.Р.)*. Найдя числовые соотношения, наш ум успокаивается, так как нам кажется, что вопрос, который нас мучил, решен. В концепциях ученых нашего века число и числовое соотношение играют такую же мистическую роль, какую они играли в древних общинах, связанных религиозным культом, в созерцании служителей храмов, откуда они проникли и охватили научное мировоззрение».

| | | | |
|---|---|--|---|
|  | <p>Вернадский Владимир Иванович (1863–1945) – отечественный естествоиспытатель, мыслитель; академик Императорской Санкт-Петербургской, Российской и АН СССР.</p> | <p>Пифагор Самосский (др.-греч. Πυθαγόρας ὁ Σάμιος, лат. Pythagoras; ок. 570-ок. 490 гг. до н.э.) – древнегреческий философ, математик.</p> |  |
|---|---|--|---|

Из школьной математики всем хорошо известны фундаментальные константы нашего мира – иррациональные числа π (математическая кон-

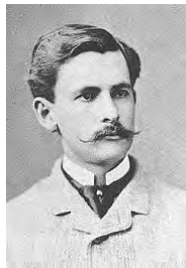
станта, выражающая отношение длины окружности к длине ее диаметра) и e (основание натурального логарифма). Эти числа известны не только «физикам», но и «лирикам» (подробнее см.: [Горобец, 2004]): так, число $\pi \approx 3,14159265358979323846\dots$, вдохновило польскую поэтессу **В. Шимборску** на создание стихотворения "Число Пи", цитату из которого я и привожу далее:

*π – число, достойное восхищения:
Три запятая один четыре один.
Каждая цифра дает ощущение
начала – пять девять два,
ведь до конца не дойти никогда.
Взглядом всех цифр не объять –
шесть пять три пять.
Арифметических действий –
восемь девять –
уже не хватает, и трудно поверить –
семь девять –
что не отделаться – три два три
восемь –
ни уравнением, которого нет,
ни шутливым сравнением –
оных не счесть.
Двинемся дальше: четыре шесть...
(Перевод с польского – Б. Горобца)*

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | <p>Шимборска (Шимборская) Вислава (Wislawa Szymborska; 1923-2012) – польская поэтесса; лауреат Нобелевской премии (1996 г.).</p> | <p>Горобец Борис Соломонович (г.р. 1948) – отечественный геолог, геофизик, математик, поэт, переводчик, автор публикаций на историко-научные темы.</p> |  |
|---|---|---|---|

Известен и целый ряд мировых физических констант (например, *скорость света в вакууме* $c = 299\,792\,458$ м/сек, *масса электрона* $e = 9,10938188 \cdot 10^{-31}$ кг и др.). Физики прилагают немало усилий, чтобы измерить их со всё более высокой точностью, но никому еще не удалось хоть как-то объяснить, *почему их значения именно таковы, каковы они есть*. Эти константы обладают одним общим свойством: изменись они хоть немного, и существование сложных атомных структур, в том числе живых организмов, окажется под большим вопросом.

«Особый интерес представляет, например, величина $\alpha = e^2/2\alpha_0hc$, объединяющая скорость света c (опыт **А. Майкельсона**), электрический заряд электрона e (опыт **Р. Милликэна**), постоянную **Планка** h и, так называемую, диэлектрическую постоянную вакуума α_0 (её называют *постоянной тонкой структуры*); впервые она была введена в 1916 г. **А. Зоммерфельдом**, который одним из первых попытался применить квантовую механику к электромагнетизму: α связывает релятивистскую (c) и квантовую (h) характеристики электромагнитных (e) взаимодействий, в которых участвуют заряженные частицы в пустом пространстве (α_0). Измерения показали, что эта вели-



Майкельсон Альберт (Albert Abraham Michelson; 1852-1931) – американский физик; лауреат Нобелевской премии (1907 г.).



Милликэн Роберт (Robert Andrews Millikan; 1868-1953) – американский физик; лауреат Нобелевской премии (1923 г.).



Планк Макс (Max Karl Ernst Ludwig Planck; 1858-1947) – немецкий физик; лауреат Нобелевской премии (1918 г.).



Зоммерфельд Арнольд (Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld; 1868-1951) – немецкий физик.

чина равна $1/137,03599976$ (приблизительно $1/137$). Если бы α имела другое значение, то изменился бы весь окружающий мир. Будь она меньше, плотность твердого вещества, состоящего из атомов, уменьшилась бы (пропорционально α^3), молекулярные связи разрывались бы при более низких температурах (α^2), а число устойчивых элементов в таблице Менделеева могло бы возрасти ($1/\alpha$). Окажись α слишком большой, малые атомные ядра не могли бы существовать, потому что связывающие их ядерные силы не смогли бы препятствовать взаимному отталкиванию протонов. При $\alpha > 0,1$ не мог бы существовать углерод» [Barrow, Webb, p. 33].

Стремление обосновать значения констант стало одним из стимулов к разработке *единой теории*, полностью описывающей все существующие явления. С её помощью ученые надеялись показать, что у каждой мировой постоянной может быть *только одно* возможное значение, обусловленное внутренними механизмами, которые определяют обманчивую произвольность

природы. Однако, **Д. Барроу** и **Д. Веб** [Barrow, 2002; Webb, 2003; Barrow, Webb, 2005; Барроу, Веб, 2005] сравнительно недавно довольно аргументировано показали, что и такая фундаментальная физическая константа как α , *непостоянна* (экспериментально было зарегистрировано достоверное увеличение α на $6 \cdot 10^{-6}$ за прошедшие 6-12 млрд. лет). «Нам остается ждать появления новых данных и проведения новых исследований, которые окончательно подтвердят или опровергнут гипотезу об изменении α . Исследователи сосредоточились именно на этой константе просто потому, что эффекты, обусловленные её вариациями, легче заметить. Но если α действительно непостоянна, то другие константы тоже должны изменяться. В таком случае нам придется признать, что внутренние механизмы природы гораздо сложнее, чем мы предполагали» [Barrow, Webb, 2005, p. 39].



Барроу Джон
(John David Barrow;
г.р. 1952) –
британский
астрофизик,
математик.



Веб Джон
(John K. Webb;
г.р. 1953) –
австралийский
астрофизик.



Рашевски Николас
(Nicolas Rashevsky;
1899-1972) –
отечественный,
американский
биофизик, математик.



Фёдоров
Вадим Дмитриевич
(г.р. 1934) –
отечественный
гидробиолог, эколог,
поэт.



Налимов
Василий Васильевич
(1910-1997) –
отечественный
математик, философ.

Когда нет «порядка» в такой традиционно строгой области, как физика, трудно ожидать лучшего положения дел в биологии и экологии. Специалист в области математической биологии **Н. Рашевски** [1968, с. 271] писал, что «несмотря на различия, мы находим поразительное *относительное* подобие между *всеми* организмами... (выделено автором. – Г.Р.) В общей биологии мы *не имеем универсальных констант* (выделено мной. – Г.Р.), таких, какие мы в большом количестве находим в физике. Однако мы находим опре-

деленные инвариантные системы отношений между различными свойствами, общими для всех организмов». Говоря об инвариантных системах, он имел в виду системы, так называемых, «биоинвариантов» (биологических свойств организмов, характеризующих организм как целое), подчеркивая их различие по своей физико-химической конституции. Сходные высказывания находим у **В.Д. Фёдорова** [1983, с. 10]: «А вот в биологии, по-видимому, констант нет. По крайней мере, нет постоянных ранга, имеющих место в физике и химии, ранга безусловной точности как некоего абсолюта... В некотором смысле жизнь как временное консервирование свободной энергии в потоке химических связей при прохождении через систему потока энергии постоянно меняющейся мощности поддерживает количественные соотношения слагающих её элементов и других более высоких образований материи, так сказать, "приблизительно", "в среднем"» и **В.В. Налимова** [1983, с. 39; Nalimov, 1985]: «В биологических мирах нет аналога фундаментальным физическим постоянным, или, если он даже и есть, то в силу своей крайней размытости не наблюдается» и [Налимов, 1986]: «В биологии модель не может обрести прогностической силы хотя бы уже потому, что в Мире живого нет опорных вех – фундаментальных констант».

Аналогично можно говорить и об экологических константах – приведу еще две цитаты. «В биологии *нет констант типа фундаментальных констант физики*, но есть примерно точные и вполне выразимые количественно зависимости типа скорости процессов фотосинтеза или потребления кислорода при дыхании, которые с определенной точностью известны для очень многих биологических видов... Вполне возможно, что при создании лабораторных сообществ из нескольких видов взаимовлияние численностей этих видов на скорости их роста также будет характеризоваться какими-то величинами, которые не слишком сильно колеблются от опыта к опыту и в этом смысле *могут играть роль экологических констант*, насколько константы в биологии вообще возможны. Речь идет, естественно, о таких константах, которые не сильно зависят от самих плотностей изучаемых видов в среде, а по-



**Гиляров
Алексей
Меркурьевич**
(г.р. 1943) –
отечественный
гидробиолог,
эколог.

скольку эти плотности в течение роста сообщества могут меняться сильно, то нам, собственно, принципиально ничего и не остается, кроме коэффициентов в тех или иных уравнениях для скоростей роста (*выделено мной. – Г.Р.*)» [Тутубалин и др., 1999, с. 166-167]. Аналогично видит эту проблему и **А.М. Гиляров** [1998а, с. 97-98]: «Экосистемный подход

можно также назвать "номогенетическим", в том смысле, что он стремится выявить количественно формулируемые "законы" (и соответствующие числовые "константы"), характеризующие трансформацию вещества и энергии в экосистемах... Надо сказать, что все эти величины могут изменяться в довольно широких пределах *и поэтому никакими константами, строго говоря, не являются*. В качестве "констант" они выступают лишь в расчетах исследователей, стремящихся построить количественные схемы потоков вещества и энергии в экосистемах, причем результаты этих расчетов могут трактоваться только как "принципиально возможные". Другие величины, как правило, отражающие фундаментальные особенности физиологии и биохимии организмов, более постоянны. Например, у животных *зависимость интенсивности обмена от массы тела* описывается степенной функцией с показателем степени 0,75. Соответственно, зная количество и размерный состав животного населения на какой-то территории или акватории, можно рассчитать количество расходуемой ими энергии (или же эквивалентное количество потребленного кислорода; *выделено мной. – Г.Р.*)».

Понятие «энергетической эквивалентности» [Damuth, 1981] подразумевает, что произведение индивидуального энергопотребления на плотность численности не зависит от массы тела. Было показано [Damuth, 1981], что плотность численности видов млекопитающих меняется как масса тела в степени $-0,75$. Только в том случае, когда индивидуальное энергопотребление (метаболизм) растет как масса в степени $+0,75$, возникает энергетическая эквивалентность видов разного размера. В конце прошлого века усилиями **Д. Веста**, **Д. Брауна** и **Б. Энkvиста** [West et al., 1997, 1999, 2001, 2003, 2004 и др.] была предложена еще одна теория, которая давала объяснение тому фак-



Вест Джеффри
(Geoffrey West;
г.р. 1941) –
американский физик.



Браун Джеймс
(James Hemphill Brown;
г.р. 1942) –
американский эколог.

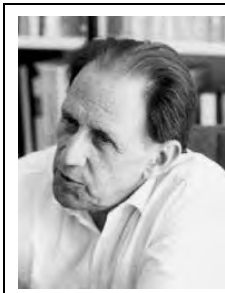


Энkvист Брайан
(Brian Joseph Enquist;
г.р. 1969) –
американский эколог.

ту, что скорость метаболических процессов эквивалентна массе в степени $+0,75$, и которая основывалась на структуре биологических сетей распределения (кровеносная система у позвоночных и ксилема у растений). Еще одно

допущение этой теории состояло в том, что скорость метаболических процессов считалась эквивалентной скорости, с которой эти сети доставляют ресурсы из «мест добычи» (например, из легких или корней) к «месту потребления» (например, к клеткам).

В процессе эволюции минимизируется время и энергия, необходимые для доставки веществ; также предполагалось, что хотя организмы и могут сильно различаться в размерах, конечные элементы распределительной сети – такие, как кровяные капилляры или жилки листа – по размерам вполне сравнимы. Критика этой теории не заставила себя долго ждать (см., например, [Dodds et al., 2001; Kozłowski, Konarzewski, 2004; Glazier, 2005 и др.]). За де-



**Маргалеф
Рамон**
(Margalef
[i López]
Ramón;
1919-2004) –
испанский
гидробиолог,
эколог.

сять лет до этих работ, **Р. Маргалеф** [1992, с. 43] предположил, что «даже при самом поверхностном взгляде очевидно неизбежное воздействие природы физического мира на пути эволюции. Различия между эмпирически полученными показателями степени и степенями, ожидаемыми от комбинации соответствующих физических размерностей, можно преодолеть

путем введения фрактальных размерностей – отношений отдельных величин, отражающих прежде всего складчатость и изменчивость поверхностей, включенных в физиологический обмен».



**Макар'ева Анастасия
Михайловна** (г.р. 1973) –
отечественный физик,
биофизик, эколог.



**Горшков Виктор
Георгиевич** (г.р. 1935) –
отечественный физик,
биофизик, эколог.

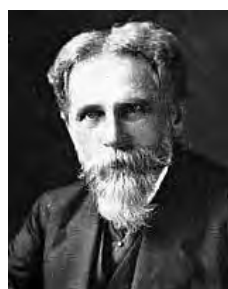


**Полищук Леонард
Владимирович**
(г.р. 1956) –
отечественный эколог.

Интересна и показательна в этом отношении дискуссия, которая развернулась в Интернете на сайте <http://elementy.ru> [У фитопланктона соотношение.., 2006] между **А.М. Макар'евой** и **В.Г. Горшковым**, с одной стороны, и **Л.В. Полищуком** – с другой. Последний отстаивает [Л. Полищук, 2006], ставшие уже традиционными для биологов (см., например, краткое

«историческое эссе» по этой проблеме А.М. Гилярова⁸ в рамках этой же дискуссии и более современные работы [West et al., 1997, 1999, 2001, 2003, 2004; Gillooly et al., 2001, 2002, 2005; Savage et al., 2004; Brown et al., 2005; Meehan, 2006 и др.]), представления по поводу степенной зависимости темпа потребления кислорода от массы тела организмов (показатель степени +0,75) и численности популяции от массы тела организмов (показатель степени -0,75; вот они – *экологические константы!*). Следует подчеркнуть, что Полищук абсолютно четко понимает случайную природу такого рода зависимости: «Экология – не физика и в ней, к сожалению или к счастью (о вкусах не спорят!), нет мировых констант. Но нечто похожее на константы все-таки есть. Обычным примером таких *слабых констант* являются показатели степени при массе тела в разнообразных зависимостях от массы. Эти зависимости могут быть самыми разными – не только обмен и численность, но и частота сокращений сердца, продолжительность развития до половой зрелости, скорость роста численности – список можно продолжить. И в очень многих из них обнаруживаются показатели степени, примерно равные или группирующиеся вокруг +1/4 или +3/4. Что означают эти мои постоянные оговорки – "примерно равные", "похожие на константы"? Экологические константы имеют вероятностную природу» [У фитопланктона соотношение..., 2006; выделено

⁸ «Господа! Представление о том, что показатель степени в уравнении, которое связывает интенсивность метаболизма и массу тела, равен 3/4, а не 2/3, как то на рубеже XIX и XX веков предполагал **М. Рубнер** (правило соотношения поверхности и объема), восходит к эмпирическим работам **М. Клейбера** [Kleiber, 1932], **Г.Г. Винберга** [1950, 1976] (работа по дыханию ракообразных), сводной статьи **А. Хеммингсена** [Hemmingsen, 1960; **Хеммингсен Аксель** (*Axel M. Hemmingsen; 1900-1978*) – датский зоолог, орнитолог. – Г.Р.] и ряду других публикаций. Я назвал только некоторые по памяти. У Винберга показатель был 0,8, но потом он согласился, что значимого отличия от 0,75 не было. Существенно, что четкая зависимость и величина около 0,75 получается только тогда, когда рассмотрена не просто большая совокупность данных, а есть и большой диапазон значений массы. Млекопитающие и ракообразные как раз и представляют собой "идеальные" группы в этом отношении» [У фитопланктона соотношение..., 2006].



Рубнер Макс (Max Rubner; 1854-1932) – немецкий физиолог, гигиенист.



Клейбер Макс (Max Kleiber; 1893-1976) – швейцарский зоолог, физиолог животных.



Винберг Георгий Георгиевич (1905-1987) – отечественный гидробиолог; чл.-корр. АН СССР.

мной. – Г.Р.]. Иными словами, величина 0,75 является математическим ожиданием («средней величиной» для соответствующей выборки) некоего вероятностного распределения величины показателя степени в аллометрических уравнениях. Следует подчеркнуть и тот факт, что коэффициент b в зависимости метаболизма от массы тела, в свою очередь, может быть, например, случайной функцией температуры тела организма [Gillooly et al., 2001, 2002; Loeuille, Loreau, 2006; Meehan, 2006; Pennington, Meehan, 2007 и др.], и тогда он будет определяться с учетом закона распределения этой функции.

А.М. Макарьева и В.Г. Горшков, напротив, со ссылками на ряд последних публикаций [Dodds et al., 2001; Savage et al., 2004; Glazier, 2005; Makarieva et al., 2005; Chaui-Berlinck, 2006 и др.], указывают на отсутствие универсальности этого параметра: «Одновременно с публикациями по теоретическому опровержению работ группы Брауна и Веста на больших объемах данных были проведены исследования степенного показателя b в зависимости метаболизма от массы тела. Эти исследования опровергают какое-либо доминирование степенного показателя $3/4$ для метаболизма» [У фитопланктона соотношение..., 2006]. При этом Макарьева и Горшков приводят интересную табличку, построенную по результатам оценки коэффициента b для разных групп организмов и демонстрирующую, по их мнению, отсутствие степенной зависимости темпа потребления кислорода от массы тела организмов с показателем степени $+0,75$:

| | b | |
|------------------|------|-------------|
| Птицы: | 0,66 | (398 видов) |
| Млекопитающие: | 0,71 | (626 видов) |
| Рыбы: | 0,80 | (69 видов) |
| Насекомые: | 0,82 | (402 вида) |
| Бактерии: | 1,00 | (53 вида) |
| Высшие растения: | 1,00 | (46 видов) |

Однако, статистика «умеет много гитик», – средневзвешенная величина b (см. главу 9, раздел 4), которую легко подсчитать по всем приведенным в табличке группам организмов, равна 0,747... Естественно (здесь следует согласиться с Макарьевой и Горшковым), оценка «статистического распределения степенных показателей в зависимости метаболизма от массы лишена смысла в той же мере, в какой лишена смысла средняя температура пациентов больницы». Более того, они указывают на еще одну работу [Вокма, 2004], в которой, основываясь на статистике 3572 измерений 112 видов рыб, было показано, что степенной показатель b в зависимости метаболизма от массы тела у исследованных видов меняется от $-0,8(!)$ до 2, причем, всё-таки, среднее значение для всех видов – 0,715 (правда, достоверно отличается и от $2/3$, и от $3/4$). Этот пример имеет больше оснований на существование в каче-

стве «доказательной базы» в данной дискуссии, так как он демонстрирует разброс в оценке коэффициента b для «более однородной» группы организмов (хотя, размерная структура организмов группы «рыбы вообще» также различается на порядки).

Каков же «сухой остаток» этой дискуссии? С одной стороны, имеет место феномен степенной зависимости обменных процессов от массы тела для большой группы организмов; причем, показатель b в этой зависимости меняется в широких пределах, но «в среднем» близок к 0,7-0,8. Построен ряд моделей, объясняющих этот феномен (назову еще и модели на основе фрактальной геометрии [West et al., 1999; Chaui-Berlinck, 2006; Savage et al., 2007]). С другой, ошибочность многих из этих моделей для теоретической поддержки *метаболического «закона 3/4»* показана в целом ряде работ [Dodds et al., 2001; Kozlowski, Konarzewski, 2004; Makarieva et al., 2005; Chaui-Berlinck, 2006; Makela, Valentine, 2006 и др.]. Как я уже заметил выше, b , в свою очередь, может быть случайной функцией температуры тела организма [Маргалев, 1992; Loeuille, Loreau, 2006; Meehan, 2006; Pennington, Meehan, 2007 и др.] или зависеть от других факторов [В.-Л. Ли et al., 2008]. Предлагаются (и тут же критикуются) и другие теории, объясняющие такого рода степенную зависимость – «Проблема коренится не в неверно выбранном показателе для расчетов, а в самом подходе. Не нужно тратить силы, определяя, с каким показателем степени продуктивность экосистем связана с массой тела — экосистемы состоят из тел, отличающихся на много порядков. Как убедительно Ян Козловский критикует гипотезу Брауна! Но предположение Козловского, что скорость метаболизма определяется длиной ДНК (см. [Kozlowski et al., 2003]. – Г.Р.), ничуть не лучше. Автор этих строк немало сил потратил на поиск различий между диплоидными и тетраплоидными зелеными жабами. По длине ДНК они отличаются в два раза, а внешние проявления этого фактора исчезающе тонки и нестабильны» [Шабанов, 2005]. Наконец, назову еще одно исследование [Коростышевский, Эппель, 1979], в котором степенная связь между параметрами аллометрического роста объясняется их зависимостью от единого управляющего центра. При этом, основной обмен измеряется как потребление кислорода в единицу времени в «оптимальных» условиях (эта величина пропорциональна количеству митохондрий – y), а вес организма пропорционален количеству составляющих его клеток (x). Тогда коэффициент b в уравнении $y = ax^b$ интерпретируется как «отношение чувствительности подсистем "x" и "y" к управлению, а константа a зависит от начальных условий, т.е. соотношения подсистем к моменту формирования структуры управления в онтогенезе» [Коростышевский, Эппель, 1979, с. 939]). В этом контексте получает весьма легкое объяснение факт того, что коэффициент b удивительно близок у разных типов организмов животных: «величина

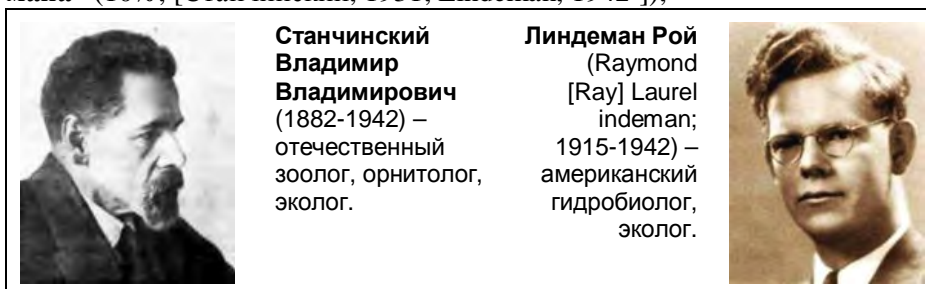
b зависит от отношения чувствительностей подсистем к управлению, которое в данном случае связано со структурными свойствами не организма в целом, а свойствами клеток и митохондрий. Поэтому коэффициент *b* оказался стабильным в ходе эволюционного процесса. Что касается коэффициента *a*, то, поскольку закладка управляющего центра в ходе эмбриогенеза у различных типов происходит на разных стадиях (при разном соотношении между численностью клеток и митохондрий), нет ничего удивительного в том, что этот коэффициент варьирует у разных типов животных» [Коростышевский, Эппель, 1979, с. 940].

Думаю, однако, что только на том основании, что некоторые ученые показали неадекватность точного значения этой «константы» некоторым организмам, по-видимому, нельзя согласиться с А.М. Макарьевой и В.Г. Горшковым в том, что «в отсутствие универсальности степенного показателя для метаболизма, никакие данные о плотности численности не могут свидетельствовать о наличии или отсутствии "энергетической эквивалентности"... Выхватывание из этой общей картины научно скомпрометированных положений двадцатилетней давности для представления их на научно-популярном сайте является, с нашей точки зрения, контрпродуктивным... Принимая во внимание все имеющиеся на сегодняшний день результаты, обсуждения аллометрии на уровне $3/4$, $-3/4$ и энергетическая эквивалентность" действительно дезинформируют читателя, отбрасывая его на десятилетия назад».

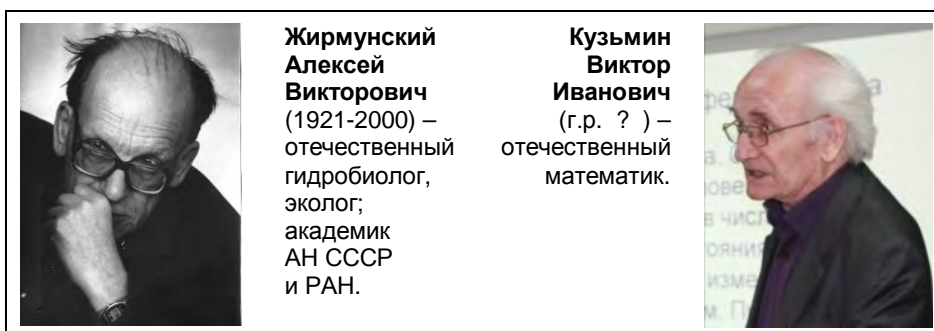
Исходя из представлений о существенном влиянии случайных факторов на показатели метаболизма различных организмов, мне ближе, всё-таки, позиция Л.В. Полищука, который заканчивает свою часть дискуссии несколько переиначенным высказыванием из одной из наиболее часто цитируемых сводок по зависимостям от массы тела [Peters 1983]: «Может быть, пора уже принять, что $3/4$ или близкая к $3/4$ величина (которую с учетом ошибки невозможно отличить от $3/4$) является модальным значением для вероятностных распределений показателя степени во многих зависимостях от массы тела – и начать изучать характеристики этих распределений и порождающие их причины?» (выделено мной. – Г.Р.). Иными словами, «поиски теоретического объяснения и закона скорости метаболизма, если такой закон существует вообще, остаются открытыми» [Chauvi-Berlinck, 2006, p. 3052].

Если придерживаться точки зрения о том, что любая «экологическая константа» вероятностна по своей природе (по В.Д. Федорову определяется «приблизительно», «в среднем» или по Л.В. Полищуку «похожа на константу») и её значение, скорее всего, должно быть задано интервально с некоторой статистической ошибкой, то такими константами в экологии могут считаться (без учета значимости в их порядке), например:

- «коэффициент экологической эффективности **Станчинского–Линдемана**» (10%; [Станчинский, 1931; Lindeman, 1942⁹]);



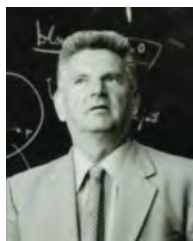
- «показатель критического уровня развития природных систем **Жирмунского–Кузьмина**» ($e^e = 7,3885\dots$; [Жирмунский и др., 1981; Жирмунский, Кузьмин, 1983, 1990; Zhirmunsky, Kuzmin, 1988]; «В книге А.В. Жирмунского и В.И. Кузьмина есть упоминание имени **Б. Мандельброта**, ссылки на статью **Р. Тома**, работы **А.А. Андропова**, книгу **Т. Постона** и **Н. Стюарта** по теории катастроф и работу **М. Фейгенбаума** об универсальном поведении нелинейных систем. Однако самоубийственность, смелость и некоторое легкомыслие увлекли АВ и его соавтора по собственной "нелинейной" траектории, лежащей вне ставших теперь классическими теоретических обобщений Тома, Мандельброта, Фейгенбаума (называем лишь авторов, идейно наиболее близких). К примеру, при рассмотрении динамики роста популяций в стороне остались важнейшие результаты, уже полученные к тому времени **А.П. Шапиро**, **Р. Мэм** и **М. Фейгенбаумом**» [Исаева, Касьянов, 2005, с. 7]);



⁹ Можно указать на определенную «связь времён»: имеется работа [R. Williams, 1971], в которой на данных Линдемана построена уже имитационная модель гидро-экосистемы Cedar Bog Lake в штате Миннесота.



Мандельброт Бенуа (Benoit B. Mandelbrot; 1924-2010) – французский математик.



Том Рене Фредерик (René Frédéric Thom; 1923-2002) – французский математик, философ.



Андронов Александр Александрович (1901-1952) – отечественный физик-теоретик, математик; академик АН СССР.



Постон Тим (Tim Poston; г.р. 1945) – британский математик.



Стюарт Иэн (Ian Nicholas Stewart; г.р. 1945) – британский математик.



Фейгенбаум Митчелл (Mitchell Jay Feigenbaum; г.р. 1944) – американский математик, физик.



Шапиро Александр Павлович (1932-1987) – отечественный математик, эколог.



Мэй Роберт (Sir Robert McCredie, Lord May of Oxford; г.р. 1936) – британский математик, биофизик, эколог.

- константы Фейгенбаума (хаотизация поведения большого числа нелинейных систем [в частности, для логистического разностного уравнения; подробнее см. главу 5, раздел 2] количественно описывается универсальными числами $\delta = 4,669201609\dots$ и $\alpha = 2,502907875\dots$); вообще-то, эти два числа совершенно справедливо претендуют на ранг мировых констант;
- «отношение Рэдфилда» («Redfield Ratio» или «Redfield–Richards Ratio»; соотношение в океаническом планктоне числа атомов углерода, азота и фосфора, оцениваемое как $106 : 16 : 1$; это соотношение для зоопланктона выдерживается гораздо более строго, чем для фитопланктона [Redfield, 1934; Redfield et al., 1963]);



Рэдфилд Альфред
(Alfred Clarence Redfield; 1890-1983) – американский океанограф, гидрохимик.



Престон Фрэнк
(Frank W. Preston; 1896-1989) – британский зоолог, орнитолог, эколог.



Мальшев Леонид Иванович
(г.р. 1931) – отечественный ботаник.

- «закон степени $-3/2$ » (средний вес растения изменяется в зависимости от плотности растений на некоторой территории как степень $-3/2$ [Yoda et al., 1963, p. 107; Уиттекер, 1980, с. 83-84; Христофорова, 1999, с. 216]);
- «коэффициент Горшкова» (изменение энергетики природной системы на 1%, как правило, выводит природную систему из равновесного [квазистационарного] состояния [Горшков, 1980, 1985, 1988; Gorshkov et al., 2000]);
- «показатель **Престона** $z = 0,27$ » (показатель сходства из уравнения Престона, при котором флоры статистически однородны [Preston, 1962; Мальшев, 1973, 1975; А. Иванова и др., 2006; Савенко, 2009]); одним из активных популяризаторов этого показателя является **Л.И. Мальшев** [1975, с. 1541]: «для определения флористического различия, оцениваемого экспонентов z , можно использовать каноническое уравнение Престона, которое основано на прямом учете количества общих и специфических таксонов... Большое значение имеет установленная Престоном теоретическим путем критическая, или пороговая, величина z около 0,27 (или 0,265 для флор с количеством видов более 10 тыс.). При различии выше 0,27 сравниваемые флоры являются изолятами»;
- «показатель Л. Полищука – годовая плодовитость вида млекопитающих для включения в "Красную книгу" $L = 2,9$ самок/год и меньше» (чем меньше плодовитость, тем выше вероятность оказаться под угрозой вымирания, т. е. вероятность попасть в "Красную книгу"; годовая плодовитость ниже 2,9 самок/год является критической [Polishchuk, 2002; Л. Полищук, 2003]);

- «показатель сложности системы Макдональда¹⁰–Пыха $IC \approx 2$ » [MacDonald, 1979, Пых, 1983]; этот индекс, в какой-то степени, инвариантен для естественных экосистем, что позволяет предположить, что в процессе эволюции в экосистемах сложилось вполне определенное соотношение связей между популяциями;
- «постоянная давления живого вещества на окружающую среду в биосфере Вернадского» [Vernadsky, 1925; Вернадский, 2001, с. 39-57]; рассмотрим эту константу несколько подробнее.



Пых Юрий Александрович
(г.р. 1944) – отечественный математик, биофизик, эколог.

12 июня 1925 г. Вернадский в письме **Б.Л. Личкову** отметил, что «сдал в "Compte Rendu" здешней Академии небольшую заметку о давлении живого вещества в биосфере. Что-то она задержалась печатанием, по-видимому, её находят необычно странной – я знаю, что её читали некоторые академики: должно быть, ищут ошибки. Мне удалось найти законности, позволяющие измерить это давление, константу α , как я её называю, живого вещества. Я думаю, что это одно из завершений моей жизненной работы – не знаю, будет ли оно понято современниками» [Вернадский, 1979, с. 34-35]. А через три дня в своем дневнике он записал: «Мысль очень углубляется в вопрос давления живого вещества – всячески проверял ход работы мысли над константой α . Сегодня, если **Перрен** вернул её **Лакруа**, – моя статья в



Личков Борис Леонидович
(1888-1966) – отечественный геолог, гидрогеолог.



Перрен Жан Батист
(Jean Baptiste Perrin; 1870-1942) – французский физик, лауреат Нобелевской премии (1926 г.).



Лакруа Альфред
(Antoine François Alfred Lacroix; 1863-1948) – французский геолог; чл.-корр. Императорской Санкт-Петербургской, РАН, почетный член АН СССР.

¹⁰ **Макдональд Норман** (Norman MacDonald; г.р. 1934) – британский биофизик, математик.

«С[ompte] R[endu]» появится через неделю. Задержка в непонимании моей работы, или же в моей, мной не сознаваемой ошибке. Проверя шаг за шагом достигнутое – думаю, что я подошел к большому обобщению. В истории науки <важны> оба случая: и заблуждение исследователя, и непонимание современников. Мне кажется, я впервые ввожу численные механические приемы в новую, до сих пор не охваченную ими область природы. Это самое крупное достижение моей жизни. Чем больше я пытаюсь проверять, тем больше утверждаюсь в этом сознании» [Вернадский, 1998, с. 184]. Вскоре появилась трехстраничная заметка [Vernadsky, 1925], в которой и была введена в научный обиход *постоянная давления живого вещества на окружающую среду в биосфере*.

В дальнейшем, эти представления были обобщены Вернадским [1926а,б; 1927; 1992, 2001], что позволило ему оценить роль числа и меры в строении биосферы: «Число царит здесь так же, как оно царит в движении небесных светил, и начинает нам выявляться в мире сложных систем атомов и их сочетаний. Движение живых веществ по поверхности планеты благодаря размножению – перенос на ней ими выработанной энергии – так же неизменны, так же определены и так же могут быть вычислены, как движение небесных тел. Они так же могут быть предвидены. Яркая, вечно изменчивая, полная красок, случайностей, неподдающаяся нашему чувству разнообразия живая природа, в сущности, построена *на мере и на числе*. Она согласована в своих тончайших проявлениях и по существу является частью единого стройного целого, единой структуры – *организованности*. Вес, размеры, количество потомства, быстрота его воспроизведения численно обусловлены размерами планеты и её газовым веществом. А в связи с этим отражение живого в химических процессах Земли, в составе и характере атмосферы является их поддающимся исчислению и предвидению результатом. Планета и организм численно связаны (*выделено автором. – Г.Р.*)» [Вернадский, 1992, с. 99].

«Растекание жизни – движение, выражающееся во всюдности жизни – есть проявление её внутренней энергии, производимой ею химической работы... Эта энергия проявляется в работе, производимой жизнью, в переносе химических элементов и в создании из них новых тел. Я буду называть её геохимической энергией жизни в биосфере. Это движение живых организмов путем размножения, совершающееся с удивительной и неизменной математической правильностью, идет в биосфере непрерывно и является характернейшей и важнейшей по своим эффектам чертой её механизма» [Вернадский, 2001, с. 40].

В основе этой величины (постоянная давления живого вещества на окружающую среду в биосфере), «всегда отличной для всякого вида или расы, сказываются, с одной стороны, характер механизма размножения, а с дру-

гой стороны, те пределы возможному размножению, которые кладутся размерами и свойствами планеты» [Вернадский, 2001, с. 46]:

- вся поверхность биосферы – $5,10065 \cdot 10^8 \text{ км}^2$;
- земной экватор – 40 075 721 м;
- скорость звука в воздухе – 331 м/с = 33 100 см/с; скорость звука в воде – 1485 м/с = 148 500 м/с;
- минимальный размер морских бактерий почти шаровой формы – 10^{-12} см^3 ;
- скорость деления этих бактерий – около 63 делений каждой клетки в сутки¹¹ («процесс деления неизбежно происходит таким темпом, если бактерия живет в условиях жизни, этому благоприятных, прежде всего, если температура среды это позволяет» [Вернадский, 2001, с. 44]).

«Если бы в этом "вселенском море" ("Панталасса", от греч. παν – весь и Θάλασσα – море; гипотетический океан, который по определению Э. Зюсса, покрывал не три четверти земной поверхности, а всю планету. – Г.Р.) температура была благоприятна для их жизни и если бы в нем не было препятствий их размножению, шаровая бактерия, в 10^{-12} см^3 объемом, в 1,47 суток – меньше чем в полутора суток – образовала бы в этом море сплошную



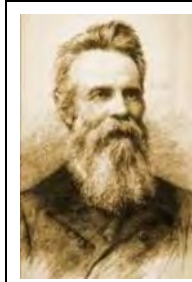
Зюсс Эдуард
(Eduard Suess;
1831-1914) –
австрийский геолог,
общественный
деятель; иностранный
почетный член
Императорской
Санкт-Петербургской
АН и РАН.

пленку в $5,10065 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ » [Вернадский, 2001, с. 45]. Если изобразить геохимическую энергию этих процессов в виде её передвижения на земной поверхности со скоростью растекания пропорциональной скорости размножения вида, то «бактерия Фишера, размером в 10^{-12} см^3 ,

при образовании пленки во "вселенском море" Э. Зюсса развила бы энергию, скорость продвижения которой по земному диаметру была бы равна около 33 100 см/с» [Вернадский, 2001, с. 46], т. е. равна скорости звука в воздухе и, всего чуть более, чем в четыре раза, меньше скорости звука в воде... «Ясно, что количество бактерий путем размножения никогда не может достигнуть в 1 см^3 той величины, которая определяет в нем количество газовых молекул, т. е. $2,706 \cdot 10^{19}$ (число **Ломмидта**). Газовых молекул в 1 см^3 , заполненном

¹¹ После возвращения в Россию в 1926 г. В.И. Вернадский узнал об открытии еще меньших (на порядок), чем бактерии, организмов – бактериофагов, скорость размножения которых почти в два раза выше, чем у бактерий – 100-120 делений каждой клетки в сутки. И если скорость передачи жизни у бактерий равна скорости звука, то бактериофаги размножаются «со скоростью взрыва» [Вернадский, 1927, с. 443; Аксёнов, 2006].

водой, будет во много раз меньше. Мы видим здесь предел размножению ставящийся явлениями дыхания, свойствами газообразного состояния материи» [Вернадский, 2001, с. 44]. И еще одна цитата из работы В.И. Вернадского [2001, с. 56]: «В мире организмов в биосфере идет жесточайшая борьба за существование – не только за пищу, но и за нужный газ, и эта последняя борьба более основная, так как она нормирует размножение (выделено автором. – Г.Р.). Дыханием определяется максимальная возможная геохимическая энергия жизни на гектар».



**Лошмидт
Иоганн Йозеф**
(Johann Josef
Loschmidt;
1821-1895) –
австрийский
физик,
химик.

«Скорость V , равная 33 100 см/с, может быть рассматриваема как [максимально предельная. – Г.Р.] скорость передачи жизни, геохимической энергии, вокруг земного шара; она равна средней скорости вращения вокруг него бактерии путем размножения... Скорость передачи жизни, по наибольшему расстоянию, ей доступному, величина V , будет той характерной для каждого однородного живого вещества постоянной, которой мы будем пользоваться для выражения геохимической энергии жизни [Вернадский, 2001, с. 46]. «Конечно, в действительности ни один организм не дает таких количеств. Однако перемещения таких масс в биосфере силой размножения даже в течение одного года отнюдь не являются фантастическими, и даже в действительности они малы. Эти числа не ирреальны. Мы действительно наблюдаем проявления жизни, им отвечающие, в окружающей нас природе... Перед нами динамическое равновесие. Оно поддерживается трудно охватываемым мыслью количеством вещества. Очевидно, что даже в сутки создаются и разрушаются смертью, рождением, метаболизмом, ростом колоссальные массы живого вещества. Кто может измерить количества вечно создающихся и вечно гибнущих неделимых? Это задача еще более трудного порядка, чем исчисление песчинок моря – задача **Архимеда**¹²» [Вернадский, 2001, с. 57].



**Архимед
из Сиракуз**
(Ἀρχιμήδης;
287-212 г.
до н.э.) –
древнегреческий
математик,
физик,
механик,
инженер.

¹² Архимед написал труд "Псаммит" (др.-греч. *Ψαμμίτης* или "Исчисление песчинок"), в котором он пытается определить верхнюю грань числа песчинок, которые занимает в своём объёме Вселенная (по представлениям того времени); его оценка – не более 10^{63} песчинок (для сравнения – современная оценка числа элементарных частиц в известной нам части Вселенной – от 10^{79} до 10^{81}).

Все эти экологические константы «на самом деле отражают единообразие физиологической и биохимической организации жизни. Более того, сам экосистемный подход возможен только благодаря тому, что число основных функций, осуществляемых организмами (иначе говоря, число "биогеохимических ролей"), очень невелико по сравнению с колоссальным разнообразием форм, свойственных органическому миру. Например, результаты процесса фотосинтеза – в принципе одни и те же у самых разных растений. Соответственно, результаты эти можно *суммировать* и получить интегральную оценку активности *всего сообщества сразу* – неважно, будь то массив леса или фитопланктон пруда» (*выделено мной.* – Г.Р.; [Гиляров, 1998а, с. 98]). Последнее предложение этой цитаты – очень сильное утверждение, которое справедливо лишь для простых (аддитивных) свойств сложных систем (см. главу 1, раздел 4), что требует специального рассмотрения и доказательства.

Сегодня, к сожалению, очень часто само понятие «экологическая константа» используется в качестве своего рода «образа» или «штампа», без всякого конкретного содержания (например, «экологическая константа современной культуры» [Монастырская, 2008], «экологическая константа нашей духовности» [Рахматуллина, 2000] или «экологическая константа фармацевтического дискурса» [Бурова, 2008]) или в весьма общем и также малосодержательном смысле (например, в таких философских контекстах: «"Технико-экономическая" среда также не дает возможностей воспроизводства материальных потребностей индивида, а мегалитический масштаб технических систем нарушает экологические константы планеты, техническая среда теряет свою "мерность" соответствия человеческой природе, в силу чего происходит деструкция антропотелесного канона, удаление даже от "медико-биологической" нормы» [Мироненко, 2007, с. 113] или «В нем (*доклад Римскому клубу* [Meadows et al., 1972]; см. главу 3, раздел 3. – Г.Р.) был прямо поставлен вопрос о пределах роста современной техногенной цивилизации, хотя последующие десятилетия и показали, что её границы реально проявились все-таки не столько в связи с истощением сырьевых ресурсов, сколько в области *экологических констант, то есть ограниченных хозяйственных возможностей биосферы* (*выделено мной.* – Г.Р.)» [Неклесса, 1999, с. 29]).

В этом контексте (экологических констант) нельзя не рассмотреть и некоторые проблемы, связанные с системой санитарно-гигиенических нормативов (предельно допустимые концентрации, ПДК). Под ПДК понимается такая концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека **не вызывает** патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений [<http://ru.wikipedia.org/wiki/>

%CF%С4%СА]. ПДК устанавливаются на основании экспериментальных данных о токсичности и иных приводящих обстоятельств и из расчёта, что существует некое предельное значение вредного фактора (экологическая константа), ниже которого пребывание в данной зоне (или, например, использование продукта) совершенно безопасно. Надо заметить, что достаточно четкая система санитарно-гигиенического регламентирования потенциально-го загрязнения (историю становления этой системы, например, для контроля загрязнения водных объектов см.: [Селезнева, 2007, с. 62-65]) обеспечивала до недавнего времени своевременное оформление прав для использования *новых веществ* – потенциальных загрязнителей природной среды на территории России. Очень важный момент: система ПДК сегодня, практически, безальтернативна для оценки токсикологичности именно *новых веществ*, которые уже в миллионных количествах произведены и будут производиться человечеством. А вот для сравнительно небольшого числа веществ двойного генезиса (природных и антропогенных: органическое вещество, соли некоторых «активных» тяжелых металлов и пр.) эта система оказывается некорректной.

Среди экологов (прежде всего, разработчиков санитарно-гигиенических нормативов) достаточно давно идет дискуссия по проблеме «региональных экологических норм» (РегПДК): действительно, коль скоро существуют региональные различия и вариации, например, химического состава природных вод (природно-географические, климатические, сезонные, разные антропогенные условия формирования качества вод водных объектов), «покрыть» территорию такой большой страны как Россия одним значением ПДК – не реально. Определение РегПДК возможно разными способами [Израэль, 1984; Патин, 1991, 2011; Левич и др., 2004; Селезнева, 2007; Селезнева, Селезнев, 2008 и пр.] и здесь я не буду обсуждать преимущества того или иного подхода. Замечу только, что единственный в стране утвержденный еще в 1994 г. РегПДК определен для бора (в составе бората кальция) для р. Рудной (Приморский край): $\text{РегПДК}_B = 2,67 \text{ мг/л}$. И здесь сразу возникает вопрос: если следовать логике этого определения, то надо признать, например, что концентрация «бора» в воде, 2,67 мг/л еще «безвредна», а концентрация того же «бора» 2,68 мг/л – уже «вредна». «Трудно придумать что-нибудь более абсурдное и нелепое. Тем, кто все же склонен всерьез согласиться с изложенной выше "логикой" в отношении ПДК... для всех остальных около 1500 веществ, занесенных в официальный "Перечень ПДК", стоит напомнить, что в природе вообще не существуют какие-либо жестко *фиксированные, дискретные* показатели (*выделено автором. – Г.Р.*)... Природа достаточно умна и не может позволить себе жестко фиксировать свои параметры и существовать по принципу ГУЛАГа – "шаг влево, шаг вправо..."» [Патин, 2011]. Статисти-

ку никто не отменял, и как ПДК, так и РегПДК должны учитывать ошибку измерений.

Принятие идеологии «региональных ПДК» вполне соответствует мировой практике, показывающей крайнюю необоснованную жесткость требований, предъявляемых к качеству сточных вод российских предприятий. И это при том, что, несмотря на в тысячи раз менее жесткие требования в Европе и в США (табл. 10.1), в последние десятилетия произошло возрождение рек Рейн и Темза в Европе и резкое снижение загрязненности Великих озер в Америке, где уже разрешен промысловый лов рыбы, в нашей стране даже с учетом падения объемов промышленного производства не произошло значимых подвижек в улучшении состояния водных ресурсов [Кудрявцев, Виноградов, URL].

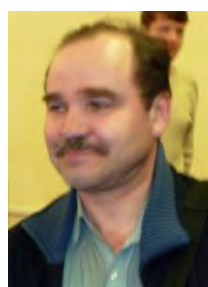
Таблица 10.1

ПДК тяжелых металлов в стоках, сбрасываемых предприятиями в городскую канализацию, применяемые в различных странах и городах [Кудрявцев, Виноградов, URL]

| Страна, город | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Ni ²⁺ | Cr ³⁺ | Fe (общ) |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|
| США | 2,07 | 1,48 | 2,38 | - | - |
| Германия | 0,5 | 2 | 0,5 | - | 3 |
| Австрия | 0,5 | 2 | 0,5 | 0,5 | - |
| Европейский союз, ЕС | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | - |
| Литва | 1 | 1 | 0,5 | 1 | - |
| Беларусь, Минск | 1 | 5 | 0,44 | 2,5 | 3,3 |
| Российская Федерация | | | | | |
| Калуга | 0,0026 | 0,0036 | 0,012 | 0,029 | 1,98 |
| Тула | 0,0125 | 0,06 | 0,04 | 0,1 | 3,0 |
| Казань | 0,08 | 0,066 | 0,01 | 0,4 | 0,6 |
| Орел | 0,01 | 0,08 | 0,06 | 3,6 | 1 |
| Ижевск | 0,23 | 0,21 | 0,04 | 1,35 | 0,4 |
| Москва | 0,5 | 2 | 0,5 | 1 | 3 |
| ПДК питьевой воды | 1 | 5 | 0,1 | 0,5 | 0,3 |
| ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования | 1 | 1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 |
| ПДК для рыбохозяйственных водоемов | 0,001 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,1 |

Следовательно, дело не в самом снижении ПДК в промышленных стоках, а в различном подходе к сохранению качества окружающей среды. В большинстве индустриально развитых стран предприятию-водопользователю установлены такие нормативы качества сточных вод, которые он *может выполнить* на имеющихся сооружениях очистки стоков, причем эти нормативы для всех сооружений определенных типов и мощности – единые. Следовательно, установленные нормативы вполне достижимы и направлены на то, чтобы заставить всех (без исключения) водопользователей не превышать установленные нормы и нести ответственность за их нарушения. Кроме того, при реализации на очистных сооружениях более эффективных технологий очистки предприятия подпадают под действие поощрительных мер и налоговых льгот, что превращает предприятие в лицо, заинтересованное в природоохранных мероприятиях. *Принципиальная невозможность* выполнения нормативных требований к качеству сточных вод в регионах России, даже при реализации самых современных технологий очистки, превращает практически все предприятия в нарушителей природоохранного законодательства (необоснованно жесткие и невыполнимые требования, несправедливые плата за загрязнение, штрафы и санкции ставят предприятия на грань банкротства) и полностью лишает их стимула добиваться улучшения экологической ситуации. Эту объективно-субъективную составляющую нельзя не учитывать при совершенствовании системы санитарно-гигиенического нормирования.

Чтобы совсем «покончить с ПДК», кратко прокомментирую исследования специалистов из Московского университета – **Н.Г. Булгакова**, **А.П. Левича**, **В.Н. Максимова** и их коллег [Левич, Терёхин, 1997; Maximov et al., 1999; Булгаков и др., 2003; 2010; Левич и др., 2004, 2009, 2010а,б и др.] – по разработке *экологически допустимых нормативов (концентраций)*. Алгоритм предлагаемого метода достаточно прост и нагляден.



Булгаков Николай Гурьевич (г.р. 1961) – отечественный эколог.



Левич Александр Петрович (г.р. 1945) – отечественный биофизик, гидробиолог, эколог.



Максимов Виктор Николаевич (1933-2012) – отечественный химик, эколог, математик.

Исходную информацию можно представить в виде диаграммы (см. **рис. 10.1**). Здесь по оси x отложены значения какого-либо наблюдаемого в ходе мониторинга физико-химического показателя (концентрации веществ, рН и т. д.), а по оси y – значения индикаторных биологических характеристик (например, биоразнообразия, измеряемое некоторым показателем). Метод сводится к подбору такого разбиения этого множества горизонтальной и вертикальной линиями на области (обозначенные латинскими буквами), чтобы некоторый результирующий критерий точности достигал экстремума. При этом вертикальная линия (ЭДУ – экологически допустимый уровень) на диаграмме разделяет значения фактора на допустимые и недопустимые, горизонтальная (ГЭБ – граница экологического благополучия) – значения индикатора, соответствующие благополучным и неблагополучным состояниям биоты.

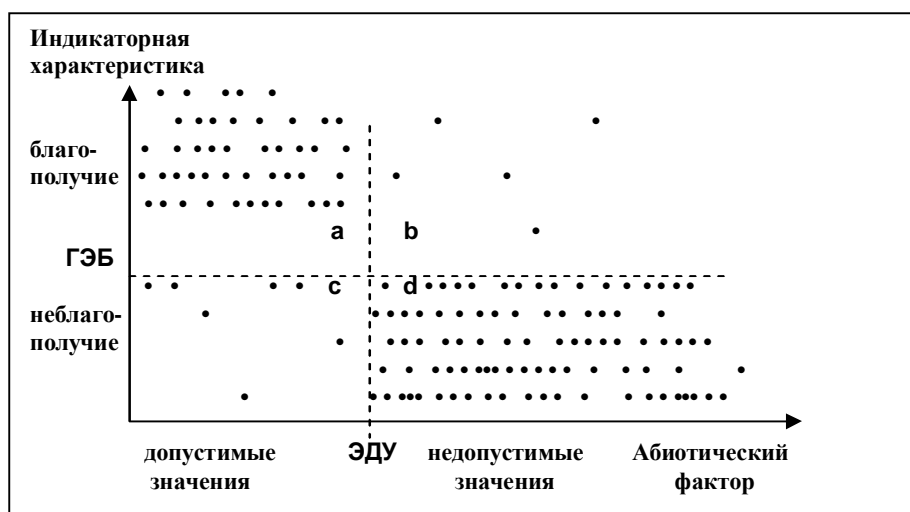


Рис. 10.1 Диаграмма распределения индикаторной характеристики в зависимости от абиотического фактора.



Результирующий критерий точности строится авторами в рамках детерминационного анализа [Чесноков, 1982; Maximov et al., 1999; Максимов и др., 1999, 2000а,б, 2001 и др.; см. главу 2, раздел 3] и, фактически, представляет собой набор индексов на основе «четырёхпольной таблицы».

Преимущество этого метода состоит в том, что он полностью индуктивен: осуществляется только подсчет встречаемости благополучных и неблагополучных, допустимых и недопустимых значений характеристик в предыстории природного объекта, т. е. метод работает только с первичными данными мониторинга. Метод не требует от распределений исходных данных, чтобы они удовлетворяли каким-либо статистическим критериям и для

его применения достаточно составить матрицу данных, включающую одновременные и одномоментные измерения значений индикаторной характеристики и факторов среды. *Недостатки* метода заключаются в том, что он работоспособен только при наличии достаточного набора данных биологического и физико-химического мониторинга (если такие данные отсутствуют, то применение лабораторных нормативов ПДК неизбежно...). Кроме того, метод не позволяет рассчитать границы нормы, если в предыстории не было влияния, приводящего к экологическому неблагополучию (или наоборот – не было благополучных состояний). Еще один «плюс» данного метода – это его широкая апробация (в частности, для анализа качества вод Нижней Волги по разнообразию фитопланктона [Левич и др., 2010б]).

2. Система законов

«Закон как теоретический компонент науки представляет собой научное обобщение, кратко и точно выражающее существенные стороны, отношения и связи исследуемых явлений, предметов и систем» [Г. Чернов, 1990, с. 3]. Сущность любой науки состоит в расширении списка законов природы и уточнения границ применимости для каждого из них. С этой точки зрения более конструктивной представляется дефиниция, в основе которой лежит следующая формулировка [Lundberg, 1947; цит. по: <http://sozidanie-lku.narod.ru/sociologia.html>]: «*Закон природы* есть выраженный в словесной или математической символической форме комплекс фундаментальных причинно-следственных связей ("если – то, следовательно"), устойчиво проявляющихся при взаимодействии материальных тел, который позволяет предсказывать результаты их повторных взаимодействий. *Система законов природы*, не изменяющихся со временем, и не допускающих исключений, ограничивает неопределенность последствий взаимосвязанных событий, и составляет собой каркас-основу, на которой строится здание любой науки».

| | | | |
|---|---|--|---|
|  | <p>Бартини Роберто Орос ди (Roberto Oros di Bartini; [Роберт Людвигович], 1897-1974) – итальянский, отечественный авиаконструктор, физик, философ.</p> | <p>Кузнецов Побиск Георгиевич (имя расшифровывается как «поколение борцов и строителей коммунизма»; 1924-2000) – отечественный химик, инженер, конструктор.</p> |  |
|---|---|--|---|

Одним из примеров системы законов в физике может служить таблица **ди Бартини – Кузнецова** (см., например [Бартини, Кузнецов, 1974; П.

Кузнецов, 2008]), в которой система физических величин использует в качестве основных размерных величин только две: длину [L] и время [T]; все остальные физические величины, включая массу, считаются производными от этих двух основных и представляются в виде произведений. Любая физическая величина в этой системе представляется общей формулой $[L^r T^s]$, где r и s – целые числа (положительные или отрицательные). Таким образом, вся совокупность физических величин, которые можно измерять, представляется бесконечной таблицей целочисленных степеней длины и времени.

Итак, реальная система экологических законов природы [Скворцов, 2004] призвана представить взаимосвязь законов, которые позволяли бы объяснять и предвидеть структуру и динамику экосистем. В этом контексте необходимо обсудить процесс формализации (математизации) такой системы законов.

В процессе познания окружающего мира человечество постоянно использует моделирование и формализацию. При изучении нового объекта сначала обычно строится его описательная (информационная) модель на естественном языке, затем она формализуется, т. е. выражается с использованием формальных языков (математики, логики и др.). Язык математики является совокупностью формальных языков, с помощью которых и осуществляется процесс формализации законов природы. Особую роль в этом процессе играет математический способ мышления.

Мышление – форма отражения, устанавливающего связи и отношения между познаваемыми объектами; мыслить – значит производить операции с использованием формальной логики. «То, что мы называем мыслями... зависит от организации путей в мозге, примерно таким же образом, каким путешествия зависят от дорог и железнодорожных путей» [Рассел, 1996, с. 159]. Операциями мышления являются анализ, синтез, сравнение, классификация, обобщение, конкретизация, абстрагирование и пр. [<http://ru.wikipedia.org/wiki/Мышление>]. Таким образом, математическое мышление имеет своим началом некоторую предметно-содержательную реальность (выявление существенных связей и отношений между объектами), подлежащую мысленному изменению и преобразованию, а его продуктом является новое математическое знание или решение математической задачи. Становление математического мышления обусловлено специфическими для данной области науки особенностями образования и формирования её содержания.



Вейль Герман
(Hermann
Klaus Hugo
Weyl;
1885-1955) –
немецкий,
швейцарский,
американский
математик,
философ.

Выступая на конференции, посвященной 200-летию Пенсильванского университета (17 сентября 1940 г.), **Г. Вейль** так сформулировал свои пред-

ставления о математическом способе мышления: «Под математическим способом мышления я понимаю, во-первых, особую форму рассуждений, посредством которых математика проникает в науки о внешнем мире – в физику, химию, биологию, экономику и т. д. и даже в наши размышления о повседневных делах и заботах, и, во-вторых, ту форму рассуждений, к которой прибегает в своей собственной области математик, будучи предоставленным самому себе. В процессе мышления мы пытаемся постичь разумом истину; наш разум стремится просветить себя, исходя из своего опыта. Поэтому, подобно самой истине и опыту, мышление по своему характеру есть нечто довольно однородное и универсальное. Влекомое глубочайшим внутренним светом, оно не сводится к набору механически применяемых правил и не может быть разделено водонепроницаемыми переборками на такие отсеки, как мышление историческое, философское, математическое и другое. Мы, математики, не ку-клукс-клан с неким тайным ритуалом мышления... Современное математическое исследование часто представляет собой искусно составленную смесь конструктивной и аксиоматической процедур» [Вейль, 1989, с. 6, 22]; еще раз напомню, что именно такая «смесь» и лежит в основе разделения подходов к построению экологических теорий (см. главу 7).

О возможности формализации процесса «открытия законов»

Широко распространенным определением «научного открытия» является следующее: *открытие* – установление неизвестных ранее, объективно существующих закономерностей, свойств, явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познания (см. "Большая Советская энциклопедия" [1974, т. 18, с. 618]). При этом под «законом природы (laws of nature)» понимаются объективно существующие, общие, устойчивые связи вещей, явлений природы, которые существенно влияют на их изменения [Яценко, 1999].



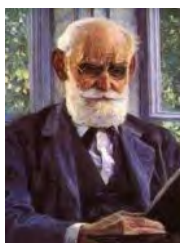
**Альтшуллер
Генрих
Саулович**
(псевдоним –
Генрих Альтов;
1926-1998) –
отечественный
изобретатель,
писатель-
фантаст.

Очень интересными представляются размышления Г.С. Альтшуллера [1960, 1979, 1991; Альтшуллер и др., 1989] о «методике открывательства», о «технологии научного творчества». Все открытия он делит на две группы, «настолько существенно отличающиеся по всем факторам, что только удивляешься, как они объединены одним словом» [Альтшуллер, 1960]:

- открытия, состоящие в установлении нового явления (открытие икс-лучей **В. Рентгеном**, условных рефлексов **И.П. Павловым**, непрерывности растительного покрова **Л.Г. Раменским** и **Г. Глизоном**; Альтшуллер считает, что эту группу открытий следовало бы называть «обнаружением», так как сущность нового явления отнюдь не открывается; новое явление просто впервые обнаруживается) или факта (географические, астрономические открытия и пр.; последнее не требует объяснения);



Рентген [Рёнтген] Вильгельм Конрад (Wilhelm Conrad Roentgen; 1845-1923) – немецкий физик; первый лауреат Нобелевской премии по физике (1901 г.).



Павлов Иван Петрович (1849-1936) – отечественный физиолог, академик Императорской Санкт-Петербургской, РАН и АН СССР; лауреат Нобелевской премии (1904 г.).



Раменский Леонтий Григорьевич (1884-1953) – отечественный ботаник, эколог, фитоценолог.

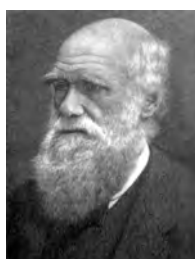


Глизон Генри (Henry Allan Gleason; 1882-1975) – американский ботаник, эколог, фитоценолог.

- открытия, состоящие в установлении закономерностей (проявляются в объяснении уже известных явлений, сущность которых ранее была непонятна или не укладывалась в имеющиеся объяснения; установление **И. Кеплером** законов движения планет, объяснение эволюции растений и животных в борьбе за существование **Ч. Дарвиным**, колебательных процессов в системе «хищник – жертва» [закон **А. Лотки** и **В. Вольтерра**]).



Кеплер Иоганн (Johannes Kepler; 1571-1630) – немецкий оптик, астроном, математик, астролог.



Дарвин Чарльз (Charles Robert Darwin; 1809-1882) – британский врач, естествоиспытатель; чл.-корр. Императорской Санкт-Петербургской АН.



Лотка Альфред (Alfred James Lotka; 1880-1949) – американский биофизик, эколог.



Вольтерра Вито (Vito Volterra; 1860-1940) – итальянский математик; почетный академик АН СССР.

Альтшуллер [1960] делает еще одно важное наблюдение: «интересно отметить, что это нашло стихийное отражение в терминологии: открытия явлений и закономерностей иногда называют "научными открытиями", невольно подчеркивая их отличие от простого установления конкретного факта... Если уж давать упрощенную схему, то можно сказать так: открытие явления есть установление нового *качества* материи, открытие закономерности есть установление *количественных соотношений*. Еще проще и грубее: в первом случае результат творчества – *новая информация*, во втором – *новая формула*» (выделено автором. – Г.Р.).

Если обобщить основные приемы открытия новых явлений и закономерностей Альтшуллера [1960, 1979, 1991; Altshuller, 1988, 1999; Альтшуллер и др., 1989], то их можно свести в **табл. 10.2**.

Таблица 10.2

Основные приемы открытия новых явлений и закономерностей

| Приемы | Примеры |
|--|---|
| 1 | 2 |
| Открытие новых явлений | |
| <ul style="list-style-type: none"> • обращать внимание на уже известные и отличающиеся странностью явления (поискать аномалию); | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Химия</i>: открытие инертного газа аргона через 100 лет после того, как при исследовании воздуха была обнаружена некая, ни с чем не соединяющаяся часть. • <i>Экология</i>: описание непрерывности растительного покрова Л.Г. Раменским и Г. Глизоном. |
| <ul style="list-style-type: none"> • обращение внимания на белые пятна в пределах уже известных явлений; | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Астрономия</i>: по результатам правильного возрастания расстояний между планетами и Солнцем было указано на «пробел» между Марсом и Юпитером, что послужило теоретическому предсказанию и нахождению ранее неизвестной планеты (точнее, пояса астероидов [Церера, Паллада, Юнона, Веста и др.]). • <i>Экология</i>: открытие В. Шелфордом закона <i>толерантности (максимума)</i> при наличии уже известного закона <i>минимума Ю. Либиха</i>. |
| <ul style="list-style-type: none"> • обращение внимания на белые пятна за пределами известных явлений; | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Физика</i>: Х. Эрстед показал, что электричество может создавать магнетизм, а М. Фарадей – что можно использовать магнетизм для получения электричества. • <i>Экология</i>: открытие Г. Каулесом <i>системогенетического закона</i> для экосистем, подобного <i>биогенетическому закону Э. Геккеля</i> для организмов (онтогенез повторяет филогенез). |

| 1 | 2 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> оценка известных явлений с новой точки зрения; | <ul style="list-style-type: none"> <i>Астрономия</i>: классический пример – гео- и гелиоцентрические системы мира. <i>Экология</i>: в начале XX в. превалировали организменные представления об экосистемах (экосистема-организм, биосфера-организм). В недрах этой парадигмы зародились представления о непрерывности экосистем (см. [Миркин, 1989а,б; McIntosh, 1995; Миркин, Наумова, 1998]). |
| <ul style="list-style-type: none"> открытие новых явлений путем комбинирования старых (явления А и Б известны; открытие состоит в том, что обнаруживается явление В, состоящее во взаимосвязи А и Б; возможны и более длинные цепочки: формула А + Б дает новое явление В, затем В + известное Г дает новое явление Д); | <ul style="list-style-type: none"> <i>Физика и химия</i>: <ul style="list-style-type: none"> Периодичность солнечной активности была известна, периодичность явлений в ионосфере – тоже; открытие состояло в том, что было найдено явление взаимосвязи между активностью солнечных пятен и функциями ионосферы. Периодичность в солнечной активности была известна, периодичность в слипании коллоидов – тоже; сначала установили взаимосвязь между этими явлениями, затем полученное новое явление связали с известным явлением, состоящим в том, что тело человека – коллоидальная система; в итоге было открыто явление взаимосвязи некоторых процессов в организме с периодичностью солнечной активности. <i>Экология</i>: к 30-м годам XX в. были известны концепция моноклимакса Ф. Клементса и концепция поликлимакса А. Тэнсли. Это позволило Р. Уиттекеру предложить концепцию климакс-мозаики (непрерывно варьирующий под воздействием эдафических факторов климакс однородной территории [Миркин и др., 1989]). |
| <ul style="list-style-type: none"> обратный прием (исследование явления А с целью установления, что оно есть совокупность двух ранее неизвестных явлений Б и В); | <ul style="list-style-type: none"> <i>Физика</i>: известное радиоактивное излучение путем применения магнитного поля было разложено на три луча, что позволило открыть явления альфа-, бета- и гамма-радиоактивности. <i>Экология</i>: полная аналогия с явлениями альфа-, бета- и гамма-разнообразия (Р. Уиттекер). |

| 1 | 2 |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> по аналогии (есть группа явлений и, допустим, есть другая более или менее похожая на нее группа явлений; тогда можно рассуждать, что явлению А в первой группе соответствует еще не известное явление А₁ во второй группе); в основе метода аналогии лежит принцип замещения исследуемого объекта, процесса другим; | <ul style="list-style-type: none"> <i>Физика: Дж. Максвелл</i> сопоставил созданную им классическую теорию электромагнетизма с гидродинамикой несжимаемых жидкостей. <i>Экология:</i> <ul style="list-style-type: none"> При прогнозировании влияния будущего водохранилища на окружающую среду можно использовать данные по уже имеющемуся водохранилищу, которое находится в сходных условиях. Ю. Одум проводит аналогию по воздействию на окружающую среду между крупным городом и вулканом. Прослежены экологические аналогии между тихоокеанской миногой <i>Lethenteron camtschaticum</i> и разными видами лососевых (Salmonidae) в циклах развития, механизмах формирования жизненных стратегий и пр. Такие аналогии являются результатом эпигенетических изменений основных экологических параметров и возникают под воздействием сходных факторов окружающей среды [Савваитова и др., 2007]. |
| <ul style="list-style-type: none"> подвергать сомнению самоочевидные и общепризнанные явления (на каждом этапе развития техники эксперимента полезно проверить, казалось бы, достоверные явления); | <ul style="list-style-type: none"> <i>Астрономия</i> (повторюсь): классический пример – гео- и гелиоцентрические системы мира. <i>Экология:</i> <ul style="list-style-type: none"> Старая история: за 600 лет до н. э. Анаксимандр из Милета высказал мысль о возникновении жизни из морского ила и о последующей её эволюции – его можно считать родоначальником идеи самозарождения жизни (эти представления поддерживали И. Ньютон, В. Гарвей и др.). В XVI в. Ф. Реди нанес удар по теории самозарождения жизни, сформулировав и доказав принцип <i>Omne vivum e vivo</i> – все живое из живого. Казалось бы, очевидные объяснения резких циклических изменений численности популяций через 1) изменения климатических факторов, 2) случайные флуктуации популяций, 3) взаимодействия популяций, 4) экосистемные взаимодействия трофических уровней [Одум, 1975, с. 249-252]. |

| 1 | 2 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> исключение не универсального явления (допустим, явление А хорошо объединяет ряд фактов, но не объясняет какого-то одного факта; тогда есть смысл попытаться отказаться от явления А или заменить его частными явлениями); | <ul style="list-style-type: none"> <i>Лингвистика</i>: Специфика структуры языка определяется особенностями в использовании языковых универсалий и наличием «не универсальных» явлений, которые могут быть заменены синонимами [Гак, 1998, с. 454]. <i>Экология</i>: примером может служить понятие «биогеоценоз»: все биогеоценозы – экосистемы, но есть экосистемы, которые не являются биогеоценозами (например, кабина пилотируемого космического корабля). |
| 1 | 2 |
| <ul style="list-style-type: none"> отыскание среди явлений взаимопротиворечивых (такая противоречивость далеко не всегда очевидна). | <ul style="list-style-type: none"> <i>Астрономия</i> (еще раз повторюсь): гео- и гелиоцентрические системы мира. <i>Экология</i>: конкурентные и протокооперативные взаимодействия популяций двух видов («если конкурентные отношения есть следствие борьбы за общий ресурс, то отношения конгруэнтные представляют собой своеобразную эстафету ресурсов, когда продукт одного из конгруэнтных партнеров является ресурсом для другого» [Михайловский, 1988, с. 47]). |
| Открытие закономерностей | |
| <ul style="list-style-type: none"> закономерность устанавливается впервые (в этом случае простейший прием состоит в следующем: надо увеличивать количество известных фактов до тех пор, пока закономерность не проявится сама собой); | <ul style="list-style-type: none"> <i>Астрономия</i>: установление Кеплером законов движения планет. <i>Экология</i>: <ul style="list-style-type: none"> закон биогенной миграции атомов В.И. Вернадского; описание колебательных процессов в системе «хищник – жертва» (А. Лотка и В. Вольтерра). |
| <ul style="list-style-type: none"> задача состоит в том, чтобы преодолеть трудности (объяснить противоречия, исключения), на которые натолкнулась предыдущая теория (в этом случае характерный прием заключается в том, что вводятся гипотетические явления, снимающие затруднения). | <ul style="list-style-type: none"> <i>Химия</i>: для создания периодической системы химических элементов Д.И. Менделеев ввел некоторые гипотетические элементы (это позволило провести принцип периодичности на протяжении всего ряда элементов). <i>Экология</i>: противоречия <i>принципа конкурентного исключения Г.Ф. Гаузе</i> «снимаются» путем введения представлений о «гильдиях» – группах видов, сходным образом использующих один и тот же класс ресурсов среды. |

«Картинную галерею» к **табл. 10.1** см. на следующих страницах.



1. **Шелфорд Виктор** (Victor Ernest Shelford; 1877-1968г.) – американский зоолог, эколог.
2. **Либих Юстус** (Justus von Liebig; 1803-1873) – немецкий химик.
3. **Эрстед Ханс [Ганс] Христиан** (Hans Christian Oersted; 1777-1851) – датский физик.
4. **Фарадей Майкл** (Michael Faraday; 1791-1867) – британский физик.
5. **Каулес Генри** (Henry Chandler Cowles; 1869-1939) – американский ботаник, эколог, фитоценолог.
6. **Геккель Эрнст** (Ernst Heinrich Philipp August Haeckel; 1834-1919) – немецкий зоолог, естествоиспытатель, философ.
7. **Клементс Фредерик** (Frederic Edward Clements; 1874-1945) – американский ботаник, эколог.
8. **Тэнсли Артур** (Arthur George Tansley; 1871-1955) – британский ботаник, эколог, фитоценолог.
9. **Уиттекер Роберт** (Robert Harding Whittaker; 1920-1980) – американский эколог, ботаник, фитоценолог.
10. **Максвелл Джеймс Клерк [Кларк]** (James Clerk Maxwell; 1831-1879) – британский физик.
11. **Одум Юджин** (Eugene Pleasants Odum; 1913-2002) – американский эколог.
12. **Анаксимандр из Милета** (греч. Αναξίμανδρος Μίλητος, лат. Anaximandros; ок. 610-ок. 547 до н.э.) – древнегреческий математик, географ, натурфилософ.

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| Ньютон Исаак (Isaac Newton; 1643-1727) – британский математик, физик, алхимик, историк. | Гарвей Вильям (William Harvey; 1578-1657) – британский медик, физиолог, эмбриолог. | Реди Франческо (Francesco Redi; 1626-1697) – итальянский врач, натуралист. | Менделеев Дмитрий Иванович (1834-1907) – отечественный ученый- энциклопедист; химик, чл.-корр. Императорской Санкт-Петер- бургской АН. | Гаузе Георгий Францевич (1910-1986) – отечественный микробиолог, эколог. |

Совершить открытие нового факта¹³, явления или закономерности – дело весьма престижное для любого естествоиспытателя. Не только престижное, но и сложное, и не без удачи. В этой работе я не ставлю целью совершить открытие нового экологического факта или явления, а вот на «подвиг» по открытию экологических закономерностей и законов меня подталкивает очень верное, на мой взгляд, суждение Г.С. Альтшуллера [1960]: «ученые второго типа (*устанавливающие новые закономерности*. – Г.Р.) намного выше (по уровню творчества) ученых первого типа (*открывающие новые явления*. – Г.Р.). Открыть явление можно и случайно. Можно и не совсем случайно, но все-таки на дармовщину, стремясь открыть явление на пять копеек, открываешь нечто, стоящее сто рублей. Открытие же новых закономерностей требует – в подавляющем большинстве случаев – целенаправленных усилий». Не обижайтесь, ученые первого типа...

Мне представляется, что приемы открытия закономерностей Альтшуллера следует расширить за счет *выбора достаточной степени абстрагирования* реальной экосистемы, её «упрощения» за счет «отбрасывания» мало значащих (естественно, на взгляд исследователя) факторов (правда, здесь следует опасаться того, чтобы «не выплеснуть с водой ребёнка»: «экологическая теория сможет охватить существующую в природе реальность, только

¹³ Я радуюсь, например, за своих коллег, которые открывают новые виды растений [Саксонов, 1990; Белоус, Лактионов, 2009] и животных [Зинченко и др., 2009; Зорина, Зинченко, 2009].

когда перестанет трактовать громадное разнообразие ситуаций, в которых оказываются организмы, популяции, сообщества и экосистемы, как некий "шум", мешающий выявлению наиболее существенных закономерностей, и будет рассматривать его как основной предмет своего изучения и важнейший источник информации. При всей сложности положения, в которое экология поставлена своими собственными задачами, успехи ее методологии [а это, наверное, главный результат заканчивающегося столетия] позволяют смотреть в будущее с достаточным оптимизмом» [Гиляров, 1998б, с. 82]). По-видимому, это касается не только экологии, но и естествознания в целом (по крайней мере, об этом же говорит, например, **П. Стейнхардт**: «Меня интересует модель, которая наиболее эффективно объяснит наблюдаемые факты. Соответствует ли она реальности, это пустой вопрос. Модели всегда упрощают реальность. По сути дела, нам не очень даже важна реальность сама по себе. Мы нуждаемся, прежде всего, в модели, которая описывает многообразие сложных феноменов с помощью самых простых концепций, понятных нашему разумению и позволяющих предсказывать происходящее... Итак, выбор модели зависит от того, какие задачи мы ставим перед собой. Реальность – это не всегда то, что вам хотелось бы, а вам хотелось бы понимания»; цит. по: [А. Волков, URL]).



Стейнхардт Пол (Paul Steinhardt; г.р. 1952) – американский астрофизик.

Законы потенциальной эффективности экосистем

О моделях потенциальной эффективности сложных систем, активно разрабатываемых в 70-80-х гг. прошлого века **Б.С. Флейшманом**, я уже упоминал в главах 5 (раздел 3) и 7 (раздел 3), а их приложение к решению экологических задач было предметом рассмотрения в нескольких монографиях и многочисленных статьях [Fleishman, 1976, 1995; Флейшман, 1978, 1982; Беляев др., 1979б; Брусиловский, Розенберг, 1979а; Грин, Кибзун, 1984; Розенберг, 1984, 1999в, 2000, 2003б, 2005б; Фролов, Розенберг, 2002 и др.]. Одна из основных целей теории потенциальной эффективности – это форму-



Флейшман Бенцион Семёнович [Шимонович] (г.р. 1926) – отечественный математик, системолог.

лировка общих предельных законов, ограничивающих эффективность сложных систем любой природы.

Представим взаимодействие системы A со средой B как серию обменов некоторого количества расходуемых ресурсов U на некоторое количество потребляемых ресурсов V (U и V в этом случае являются параметрами системы A); Флейшман такой обмен называет $(U;V)$ -обменом (примером может служить рост биомассы агроэкосистемы $[V]$ при внесении удобрений $[U]$). Тогда целью A_0 системы A можно определить «наиболее выгодный $(U;V)$ -обмен» (система стремится получить больше, отдавая при этом меньше). Для широких классов $\{\Omega\}$ и $\{\Psi\}$, таких, что $A \in \{\Omega\}$ и $B \in \{\Psi\}$, существует фундаментальная величина

$$v_0 = v(u, A_0, B_0) = \max_{A \in \{\Omega\}} \min_{B \in \{\Psi\}} v(u, A, B),$$

где A_0 и B_0 – оптимальные в классах $\{\Omega\}$ и $\{\Psi\}$ система и среда, соответственно [Флейшман, 1971, 1982].

Если представить $(U;V)$ -обмен как некоторый случайный процесс (для каждого фиксированного U система путем изменения своей структуры и поведения стремится максимизировать V), то характеризовать взаимодействие системы A со средой B можно через некоторую вероятность $P(U;V)$ достижения системой A своей цели A_0 .

В частности, для простых систем (см. глава 1, раздел 2) определяющими являются законы сохранения вещества и энергии [Свирижев, 1978, с. 120-125]. Например, если в изолированную систему из среды регулярно через интервал времени, принятый за единицу, поступают «порции энергии» Δv_i и всего за n единиц времени в неё поступило $v = \Delta v_1 + \Delta v_2 + \dots + \Delta v_n$ энергии (прямое следствие аддитивности простых свойств сложных систем), то общее количество энергии u , которое система может выделить в среду за то же время не может быть больше v ($u \leq v$). Нарушение этого фундаментального физического постулата, основанного на нашем эмпирическом знании, свидетельствует о том, что система имела некоторую запасенную энергию. «В любых $(u;v)$ -обменах такого рода всегда оказывается, что общее количество энергии не возникает и не исчезает, а лишь обменивается» [Флейшман, 1982, с. 40].

Еще один пример фундаментального закона не физического, а системного характера (сделанного на основе логического анализа-знания) касается проблемы различения сигналов на фоне шумов среды. Пусть сложная система регулярно через интервал времени, принятый за единицу, принимает искажаемые средой сигналы 0 и 1 (их искажение происходит независимо в различные моменты времени с вероятностью $p < 0,5$). Системе известны v сигналов (x_1, x_2, \dots, x_v) , взаимно-однозначно закодированных v последова-

тельностью из u бинарных символов 0 и 1 (длиной u). Согласно закону помехоустойчивости **К. Шеннона**¹⁴, имеется фундаментальная величина $\nu_0 = 2^{u \cdot C(p)}$, где $C(p) = 1 + p \log_2 p + (1-p) \log_2 (1-p)$, такая, что при $\nu < \nu_0$ существуют такие способы кодирования и декодирования, при которых вероятность правильного декодирования P с ростом u стремится к единице; если же $\nu > \nu_0$, то при любых способах кодирования и декодирования P с ростом u стремится к нулю. Таким образом, например, при $p = 0,1$ и $u = 100$, $\nu_0 \approx 0,3 \cdot 10^{16}$. При этом, напомним, что P является вероятностью осуществления оптимального в этом случае ($u; \nu$)-обмена (система должна «знать» не менее ν сигналов, чтобы «различать» последовательности из u символов), т. е. P – это потенциальная эффективность системы. Естественно, что одним из условий, молчаливо предполагаемым в этой ситуации, является условие «информационной замкнутости системы» (в систему не поступает никакая другая, кроме указанной, информация).

На основе глубокой математической закономерности, лежащей в основе поведения всех стохастических моделей потенциальной эффективности сложных систем, – вероятности больших отклонений – было доказано [Флейшман, 1971, с. 202-210; Fleishman, 1995], что при достаточно больших значениях U и соответствующих им больших значениях V , вероятность выгодного ($U; V$)-обмена имеет единое для этой теории асимптотическое поведение:



Шеннон Клод
(Claude Elwood Shannon;
1916-2001)
– американский
математик,
кибернетик.

¹⁴ Основу теории потенциальной помехоустойчивости составили две фундаментальные работы: эта докторская диссертация **В.А. Котельникова** «Теория потенциальной помехоустойчивости при флюктуационных помехах» (1946 г.) и публикация К. Шеннона – «Математическая теория связи» (1948 г.). При этом первый [Котельников, 1956] изучал передачу сигнала без избыточности (никаких дополнительных элементов в сигнале, кроме необходимых для переноса информации, не было), а второй [Shannon, 1948; К. Шеннон, 1963] построил математическую модель не только идеального приемника, а всей системы связи, считая, что в ней используются идеальные сигналы (с избыточностью).



Котельников Владимир Александрович (1908-2005) – отечественный радиофизик, радиотехник, радиоастроном; академик АН СССР и РАН.

$$P(U;V) \rightarrow 0, \text{ при } V > V_0,$$

$$P(U;V) \rightarrow 1, \text{ при } V < V_0,$$

где V_0 – количество ресурса, получаемого оптимальной по данному качеству системой A_0 . Таким образом, системе не выгодно получение величины ресурса $V > V_0$ (жадность до добра не доведет). Отсюда, эффективность системы всегда ограничивается предельно выгодным для нее $(U;V_0)$ -обменом.

Принцип лимитирующих факторов Либиха–Шелфорда – закон, являющийся расширением и объединением *закона минимума* Ю. Либиха (1840 г.) и *закона толерантности* В. Шелфорда (1913 г.), согласно которым при «стационарном состоянии» вида факторы среды, имеющие в конкретных условиях пессимальные значения (наиболее удаленные от оптимума), в максимальной степени ограничивают возможность существования вида в данных условиях, несмотря на оптимальное соотношение остальных факторов среды (в первую очередь это касается фундаментальных экологических факторов).¹⁵

В терминах теории потенциальной эффективности сложных систем при наличии конечного набора параметров $X = \{X_i, i = \overline{1, n}\}$, называемых *X-качествами* (ресурсы или факторы воздействия), сложную систему A (популяцию, экосистему) и её стратегическую цель \underline{A} можно рассматривать как наборы соответствующих X -сечений системы $A = \{A_X\}$ (зависимость популяции или экосистемы от отдельных параметров среды или факторов воздействия X_i и тактических целей $\underline{A} = \{A_X\}$). Тогда, используя *неравенство Буля*¹⁶, для вероятности достижения цели $P(\underline{A})$ получим следующее соотношение:

¹⁵ Формализация принципа Либиха–Шелфорда на «языке дифференциальных уравнений» предпринималась неоднократно (см. обзор [Фурсова, Левич, 2002]).

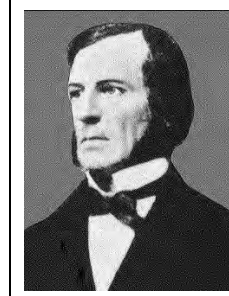
¹⁶ Неравенство Буля [Флейшман, 1971] интерпретируется как вероятностное описание закона Либиха. При наличии конечного набора ресурсов или факторов воздействия $X = \{X_i, i = \overline{1, n}\}$, сложную систему A (популяция) и её стратегическую цель \underline{A} (например, выживание) можно рассматривать как наборы соответствующих зависимостей \underline{A}_j популяции от отдельных параметров среды X_i . Тогда, ослабляя нижнюю оценку неравенства Буля, имеем:

$$1 - n \cdot \max [1 - P(\underline{A}_i)] < P(\underline{A}) < \min_{X_i} P(\underline{A}_i),$$

где $P(\underline{A})$ – вероятность выживания (совместного осуществления событий $A_i, i = \overline{1, n}$); $P(\underline{A}_i)$ – вероятность осуществления события \underline{A}_i . Это неравенство позволяет оценить вероятность пересечения зависимых событий, не вдаваясь в сложную природу их зависимости.

$$1 - \sum_{i=1}^n [1 - P(\underline{A}_i)] < P(\underline{A}) < \underbrace{\min}_{X_i} P(\underline{A}_i).$$

Таким образом, эффективность сложной системы (вероятность достижения цели $\underline{A} = \{ \underline{A}_X \}$) определяется эффективностью самого «слабого» её X -сечения (совпадает с вероятностью достижения своей X -цели этого «слабого» X -сечения). Именно в этом смысле, построенное общесистемное соотношение экологически интерпретируется как *закон минимума Либиха*.



Буль Джордж
(George Boole;
1815-1864) –
британский
математик,
логик.

Закон критических величин фактора – если один из экологических факторов выходит за пределы критических (пороговых или экстремальных) значений, то особям грозит смерть, несмотря на оптимальное сочетание других факторов. Такие факторы (иногда называемые *экстремальными*) приобретают первостепенное значение в жизни вида (его популяций) в каждый конкретный отрезок времени. Классический пример – Всемирный потоп.

Один из вариантов формализации этого закона предложили **Д.О. Логофет** и **Ю.М. Свиричев** [1976] при описании динамики изолированной популяции под воздействием случайных флуктуаций среды, что позволило оценить вероятность снижения численности ниже заданного уровня в зависимости от емкости среды для данного вида. При описании динамики численности популяции N логистическим уравнением роста, вероятность падения численности популяции ниже некоторого граничного значения N_{KP} за конечное время t оценивается по формуле:

$$P \cong 1 - 2 \cdot \Phi_0 \left(\frac{1 - N_{KP} / N_0}{\sigma \cdot K \cdot t} \right),$$

где Φ_0 – стандартный интеграл вероятности, K – «емкость среды» логистического уравнения роста, σ – коэффициент, отражающий интенсивность случайных флуктуаций, оказывающих влияние на скорость естественного прироста популяции, N_0 – начальное значение численности популяции в момент времени $t = 0$.



Логофет Дмитрий Олегович
(г.р. 1947) –
отечественные математики, экологи.



Свиричев Юрий Михайлович
(1938-2007) –
отечественные математики, экологи.

В терминах теории потенциальной эффективности сложных систем для формализации данного закона воспользуемся описанием надежности (устойчивости) экосистемы [Флейшман, 1982]. Пусть в момент времени t система A состоит из элементов e_i ($i = 1, n(t)$), каждый из которых независимо от других в результате взаимодействия с некоторым фактором среды погибает с вероятностью p_i . Система A «обнаруживает» свое состояние (живые и погибшие элементы) с опозданием на интервал времени, принятый за единицу. Живая система A может пополниться любым числом элементов (миграция) или воспроизвести их, при этом внешняя к системе среда ей «не мешает» (индифферентна). Гибель системы A фиксируется в момент времени t , когда погибают все её элементы: $n(t) = 0$. Цель системы R – выжить, то есть просуществовать как можно дольше. Можно считать, что система A_R (система A с целью R) «приобретает» у среды время жизни t , «оплачивая» его гибелью своих элементов n . В этом случае можно говорить о существовании $(n; t)$ -обмена и решать задачу об определении потенциально-эффективного $(n; t_0)$ -обмена: до какого минимального числа элементов $n(t)$ должна пополняться система A_R , компенсируя погибшие в момент $(t-1)$ элементы, чтобы с вероятностью сколь угодно близкой к единице существовать длительное время не менее t_0 ?

Б.С. Флейшманом получена оценка потенциально-эффективного $(n; t)$ -обмена, который имеет место при

$$t_0 = t(n) = \exp\{C_R \cdot n(t)\},$$

где $C_R = C_R(\{p_i\})$ – фундаментальная константа, зависящая от вероятностей $\{p_i\}$ гибели элементов. Другими словами, для неограниченно долгого существования $t > t_0$ системы A_R необходим, по крайней мере, логарифмический со временем t рост числа её элементов. Сложные системы с фиксированным числом элементов – смертны.

Принцип агрегации особей Олли. Одна из основных задач моделирования структурной организации популяций – это описание механизмов формирования агрегаций особей. *Принцип агрегации особей У. Олли* [Allee,



Олли Уард
(Warder Clyde Allee;
1885-1955) –
американский
зоолог,
эколог.

1931] сформулирован в следующем виде: скопление особей популяции, с одной стороны, усиливает конкуренцию между ними за пищевые ресурсы и жизненное пространство, с другой – приводит к повышению способности группы в целом к выживанию. Таким образом, как «перенаселенность», так и «недонаселенность» могут выступать в качестве

лимитирующего фактора. Так, группа растений способна более эффективно противостоять ветру или уменьшать потери воды, чем отдельные особи, а с другой стороны, в группе усиливается конкуренция за свет и элементы минерального питания [Одум, 1975, с. 269].

Лучше всего положительное влияние объединения в группу на выживание системы в целом сказывается на животных – стаи рыб (выдерживают более высокие дозы токсических нагрузок, обладают большей эффективностью в поисках агрегированной пищи; потенциально-эффективная модель оптимизации размера целостной стаи рассмотрена ниже), колониальные птицы (неспособность размножаться при уменьшении колонии птиц ниже некоторой границы), общественные насекомые (рой пчел способен в группе выдерживать температуры, от которых отдельные особи погибли бы в изоляции) и т.д. Принцип Олли постулирует [Одум, 1975, с. 270] «начала общественной организации, в разной степени развитой у животных и достигающей кульминации у человека (что, как мы очень надеемся, важно для выживания!)»¹⁷. Общность для всех стайных животных основных биологических функций стай, сходство ряда механизмов поддержания стай (внутристая сигнализация, подражание, взаимная стимуляция и пр.), некоторых параметров их структуры, все это позволяет рассматривать стайное поведение рыб как частный случай «групповой жизни», широко распространенный в мире животных. «Величина, форма, плотность, структура стаи рыб разнообразны и изменчивы даже у рыб одного и того же вида и в одно и то же время, что связано с характером стай рыб как лабильной адаптации к изменчивым условиям. Вместе с тем, стаи рыб разных видов имеют много общих существенных черт, что позволяет рассматривать последние как результат конвергенции в области поведения рыб этих видов» [Радаков, 1972, с. 152].

В дальнейшем рассмотрим агрегированность биологических объектов – здесь имеет место *m*-стая (группа из *m* однородных особей) – и проанализируем возможность оптимизации не индивидуального, а коллективного поведения. Замечу, что традиционные кибернетические модели коллективного поведения предполагали либо однородность среды и отсутствие необходимо-

¹⁷ Замечу, что с этих позиций «городская агрегация» (с учетом, конечно, специфических особенностей биологического и социального уровней организации) благоприятна для человека только до определенных размеров города, что ставит на повестку дня вопрос об определении оптимальной величины городского поселения (в зависимости от величины природно-ресурсного потенциала территории и возможной антропогенной нагрузки на нее – примером могут служить комплексные исследования эколого-экономической системы городов Тольятти [Розенберг и др., 1995] и Нижнего Новгорода [Гелашвили и др., 2008]).

сти обеспечения целостности системы (например, **М.Л. Цетлин** [1969]; счита-

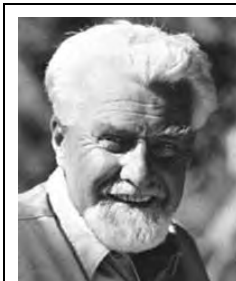


**Цетлин
Михаил
Львович**
(1924-1966) –
отечественный
математик,
кибернетик.

ется, что управление отдельными особями в группе лучше всего обеспечивается иерархической структурой «с лидером»), либо «вводили» некоторые специализированные защитные элементы (например, модель живучести системы Б.С. Флейшмана). Рассматриваемые далее модели потенциальной эффективности коллективного поведения m -стаи описывают следующую ситуацию:

- m -стая функционирует в неоднородной среде, которая является как источником ресурсов (агрегированная пища), так и губительных воздействий (хищники),
- управление особями m -стаи осуществляется «без лидера» и основано на подражании особей себе подобным,
- наконец, каждая особь m -стаи полифункциональна.

Таким образом, проблема обеспечения целостности m -стаи, её эффективного поиска пищи и защиты от хищников связана с информационными проблемами обнаружения особями m -стаи себе подобных (ближнее внутреннее обнаружение) и всей m -стаей внешних для нее объектов (дальнее внешнее обнаружение). В какой-то степени, это соответствует представлениям **К. Лоренца** [2001, с. 190]: «Самая первая форма "сообщества" – в самом широком смысле слова – это анонимное скопление, типичный пример которого нам дают рыбы в мировом океане. Внутри такого скопления нет ничего по-



Лоренц Конрад
(Konrad Zacharias
Lorenz;
1903-1989) –
австрийский
зоолог, этолог,
писатель;
лауреат
Нобелевской
премии (1973 г.).

хожего на структуру; никаких вожак-ов и никаких ведомых – лишь громадная масса одинаковых элементов. Несомненно, они взаимно влияют друг на друга; несомненно, существуют какие-то простейшие формы "взаимопонимания" между особями, составляющими эти скопления. Когда кто-то из них замечает опас-

ность и спасается бегством, – все остальные, кто может заметить его страх, заражаются этим настроением. Насколько широко распространится такая паника в крупном косяке, окажется ли она в состоянии побудить весь косяк к повороту и бегству – это сугубо *количественный вопрос (выделено мной. – Г.Р.)*».

Закон максимизации размера целостной стаи [Флейшман и др., 1978; Гульдин, 1980; Флейшман, 1982] – следствие из математических формализмов информационной модели стаи с учетом агрегирования среды. При этом следует помнить, что «стаи рыб, также как и других животных, – это сложное, многоплановое явление, имеющее многообразное биологическое значение» [Мантейфель, 1987, с. 79]. «Большинство мирных рыб ведут стайный образ жизни, будучи не только мальками, но и уже взрослыми особями. Причем стремление к коллективизму – величина переменная, и в течение года может в значительной мере изменяться. Зависит это в основном от возможностей рыб прокормиться и спрятаться от опасности в конкретный период» [Андреев, URL]. Отмечу, что стайное поведение рыб всегда привлекало внимание исследователей – назову лишь ряд отечественных монографических работ [Никольский, 1965; Радаков, 1972; Мантейфель, 1980, 1987; Герасимов, 1983; Павлов, Касумян, 2004 и др.].

Построенная для оптимизационного описания стайного поведения рыб (ясно, что в условиях агрегированности пищи-среды очень «маленькая стая» не сможет эффективно её обнаружить, а очень «большая стая» не сможет прокормиться; таким образом, должен существовать оптимум по размеру стаи в зависимости от характеристик агрегированности пищи и «информационной обеспеченности» рыб), эта модель позволяет интерпретации и более общего экологического плана (например, для популяции растений). В основе модели Б.С. Флейшмана лежат следующие гипотезы:

- система (m -стая) состоит из m элементов (m особей);
- элементы m -стаи находятся во взаимоотношениях друг с другом и под воздействием факторов среды;
- среда (V), в которой функционирует эта система (m -стая), имеет размерность α (α -мерная экологическая ниша или α -мерное пространство ресурсов) и состоит из двух «частей»: полезной V_1 и вредной V_2 для m -стаи (по-видимому, подобное разделение экологической ниши приемлемо для любых популяций);
- интенсивность сигнала-воздействия $E(x)$ с ростом расстояния x от источника затухает (по экспоненте или по показательному закону), а вероятность обнаружения сигнала-воздействия не зависит (при $x \rightarrow x_0$) от вида зависимости $E(x)$;
- задается «потенциальный рацион» особи, который представляет собой показатель доступности ресурса, отражает внутривидовую конкуренцию и лимитирующее влияние процесса расселения;
- наконец, рассматривается два режима поиска пищи:
 - ◊ «зрячий облов» ($l < r_m$) и
 - ◊ «слепой рыск» ($l > r_m$).

Эти гипотезы позволяют построить модель потенциальной эффективности и оценить размер m -стаи при оптимизации ряда её параметров:

- оптимизация потребления m -стаей агрегированных в среде ресурсов,
- минимаксная защита от губительных воздействий среды (взаимодействие «хищник – m -стая»),
- максимизация вероятности целостности m -стаи.

Коллективный поиск и обнаружение «пятен» пищи. Пусть m -стая перемещается в α -мерном пространстве ($\alpha = 1, 2, 3$) в поиске пищи (см. рис. 10.2). Пища агрегирована в «пятна» шаровидной формы с радиусом r_n и минимальным расстоянием между центрами агрегаций, равным l («пятна» находятся в узлах α -мерной l -решетки).

Пусть $\rho = V/N = n/l^\alpha$ – плотность пищи во всей моделируемой области (V – объем, N – общее число «кормовых частиц», n – среднее число частиц в агрегации), $\rho_n = n/r_n^\alpha$ – плотность «кормовых частиц» внутри пищевой агрегации. Отсюда

$$r_n = (\rho / \rho_n)^{1/\alpha} l.$$

Коллективное обнаружение особями m -стаи внешних «пятен» пищи позволяет «увеличить» радиус r_n агрегации до радиуса r_m их уверенного обнаружения [Флейшман, 1982, с. 267, 271]:

$$r_m = r_n + r(m),$$

где

$$r(m) = r_0(c_3 - c_4 / \sqrt{m}),$$

$$c_3 = 1 - \theta / c_4,$$

$$c_4 = \sqrt{2\theta(1-\theta) \ln \varepsilon^{-1}} / c_2,$$

$$c_2 = \begin{cases} c_1 / (1 - r_1 / r_0), \\ c_1 / (\ln[r_0 / r_1]), \end{cases}$$

соответственно, для экспоненциальной и показательной зависимостей затухания интенсивности сигнала, c_1 – положительная константа, зависящая от параметров отношения «сигнал – шум» (особый интерес представляет случай слабых сигналов) и максимальной сенсорной интенсивности приема сигнала особью; $r_1 \leq r \leq r_0$, r_1 (уверенное различение) и r_0 (неуверенное различение) – диапазон обнаружения сигнала; θ – доля особей m -стаи ($\theta < m$), которая обнаруживает внешний объект, устремляется к нему, а остальная $(1 - \theta)$ -я доля особей, не обнаруживших этого объекта, устремляется к нему, «подра-

жая» особям θ -й доли (величина θ является важным экологическим параметром агрегации); ε – сколь угодно малое положительное число (уровень значимости) для оценки вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги. Наконец, двигаясь со скоростью w , каждая особь m -стаи несет некоторые энергетические потери на единицу пути, которые можно считать эквивалентными в среднем потерям $z = z(w)$ пищевых частиц. Если рассматривать ситуацию «слабого сигнала», то все эти формулы позволяют получить такую оценку: $r_m = r_n + r_0$ с ростом m .

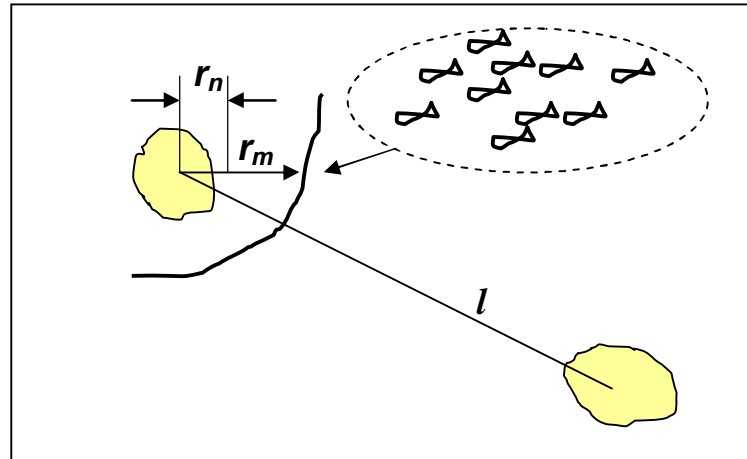


Рис. 10.2. Схема взаимодействия m -стаи с пятнами пищи.

Важным параметром модели является R – средний потенциальный удельный «рацион» одной особи m -стаи (количество пищевых частиц, приходящихся в среднем одной особи в единицу времени [Беляев и др., 1979, с. 16; Флейшман, 1982, с. 271]):

$$R(m) = (\rho y^{\alpha-1}/m - z)w,$$

где w – скорость m -стаи, z – потери в пищевых частицах одной особью на 1 м пути, y – надежный радиус обнаружения пищевых пятен:

$$y = \min(l, r_m) = \begin{cases} l & \text{при } l \leq r_m \text{ ("зрячий облов")}, \\ r_m & \text{при } l > r_m \text{ ("слепой рыск")}. \end{cases}$$

Для фиксированного параметра l с учетом всех этих соотношений, можно определить оптимальное значение размера целостной стаи $m_{opt}^{пицца}$, которое приводит к максимуму рациона $R(m_{opt}^{пицца})$:

$$m_{opt}^{пища} = \left\{ \frac{(\alpha + 1)c_4}{2[(r_n / r_0) + c_3]} \right\}^2.$$

Качественный анализ $m_{opt}^{пища}$ позволил Б.С. Флейшману прийти к следующим выводам. Учитывая вид положительных коэффициентов c_2 , c_3 и c_4 , а также тот факт, что для «слабого сигнала» величины $c_2 \gg 1$, $c_3 \approx 1$, а $c_4 \approx 0(\ln(r_0/r_1))$ для $r_1 < r_0$, коллективное обнаружение агрегаций пищи m -стаей не может привести к расстоянию уверенного обнаружения сигналов $r_m > r_0$, но может приблизиться к нему $r_m \sim r_0$. Если интервал интенсивности воспринимаемых сигналов мал ($r_1 \sim r_0$), то коллективное обнаружение сигналов m -стаей ничего не дает по сравнению с индивидуальным обнаружением сигнала отдельной особью ($m_{opt}^{пища} \rightarrow 1$). Аналогичный эффект имеет место и при больших значениях отношения $r_n/r_0 \rightarrow \infty$, что указывает на существенно бóльшие размеры агрегации пищи (r_n) по сравнению с расстоянием r_0 , на котором они могут быть обнаружены m -стаей.

В январе 1974 г. во время 17-го рейса научно-исследовательского судна "Академик Курчатов" были проведены наблюдения за стаями летучих рыб (Echocoetidae), вспугнутых судном, которые подтвердили достаточно хорошую работоспособность модели [Флейшман, 1977, 1982].

Коллективная защита от хищника. По данным **Б.П. Мантейфеля** [1970, 1980, 1987; Экологические и эволюционные аспекты..., 1974; Групповое поведение животных..., 1976], особь внутри менее доступна хищнику, чем вне m -стаи. «Для животных, находящихся в естественных условиях, где они, как правило, окружены врагами, скопление в многочисленные группы, казалось бы, должно было увеличивать их элиминацию... Исследования выявляют



**Мантейфель
Борис
Петрович**
(1905-1976) –
отечественный
ихтиолог,
гидробиолог.

все бóльший "арсенал" оборонительных возможностей организованной группы животных. Прежде всего, группа животных, которая ведет "тактику кругового обзора", замечает своего врага на значительно большем расстоянии, чем одна особь. Поэтому хищнику намного труднее приблизиться к группе животных на расстоя-

ние броска» [Мантейфель, 1980, с. 67], «Другие исследователи... считают, что стаям рыб может быть свойственна "коллективная мимикрия", иными словами, что плотная стая может восприниматься хищниками, как крупное пугающее животное» [Мантейфель, 1987, с. 84].

Сходное объяснение групповому поведению рыб можно найти и у К. Лоренца [2001, с. 188-189]: «Некоторые рыбы в случае опасности собираются в такую плотную массу, что она выглядит как *одна громадная рыбина (выделено мной. – Г.Р.)*; а поскольку многие довольно глупые хищники, например барракуда, очень боятся подавиться, напав на слишком крупную добычу, – это может играть своеобразную защитную роль. Еще один очень сильный довод в пользу правильности моего объяснения вытекает из того, что, очевидно, ни один крупный профессиональный хищник не нападает на жертву внутри плотного стада. Не только крупные млекопитающие хищники, как лев и тигр, задумываются об обороноспособности их добычи, прежде чем прыгнуть на буйвола в стаде. Мелкие хищники, охотящиеся на беззащитную дичь, тоже почти всегда стараются отбить от стаи кого-то одного, прежде чем соберутся всерьез на него напасть. Сапсан и чеглок имеют даже специальный охотничий прием, который служит исключительно этой цели и никакой другой.., крупная макрель следует за косяком мальков рыбы-ежа и терпеливо ждет, пока какая-нибудь одна рыбка не отделится наконец от плотного строя, чтобы самой схватить какую-то мелкую добычу», и у других исследователей: «Дело в том, что рыбы, собравшиеся в стаю, как ни странно, оказываются лучше защищены от нападающего хищника, чем по одиночке. Почему так, не совсем понятно, но это так. То ли у хищника в буквальном смысле "глаза разбегаются", то ли еще почему-то, но шансов поймать рыбку в стае у него меньше, чем ту же рыбку, но одиночную. Именно поэтому многие хищные рыбы стараются охотиться тогда, когда стаи распадаются (в сумерки), или еще не собрались (на рассвете)» [Цесарский, 2004].

Предлагается [Флейшман, 1982, с. 279-282] следующая формализация процесса «взаимодействия» m -стаи и хищника. Представим стратегию нападения хищника на m -стаю, состоящую из серии двухэтапных атак. На первом этапе хищник пытается нарушить целостность m -стаи некоторыми распугивающими действиями. Этот этап характеризуется малыми «энергетическими затратами» хищника в единицу времени и достаточно большой продолжительностью (см. выше: «крупная макрель следует за косяком мальков рыбы-ежа и *терпеливо ждет*, пока какая-нибудь одна рыбка не отделится наконец от плотного строя...»). После того, как происходит распад m -стаи, начинается второй этап – «силовая» атака (преследование и поимка хищником отдельной особи, отбившейся от стаи); этот этап связан с большими «энергетическими затратами» хищника в единицу времени и достаточно кратковременен (в дальнейшем длительность этого этапа Δt принимается за единицу). После этого, оставшиеся не пойманными $m' < m$ особей образуют новую m' -стаю и процесс охоты хищника в двухэтапном режиме продолжается.

Для такого процесса «взаимодействия» хищника и m -стаи, последняя описывается случайным графом, в котором допустимы связи между любыми его вершинами-особями. Вероятность целостности такой m -стаи равна вероятности P_{mD} связанности случайного графа и имеет следующую асимптотическую оценку [Флейшман, Агаджанян, 1975; Флейшман, 1982]:

$$P_{mD} \approx 1 - m(1 - D)^{m-1},$$

где D – вероятность обнаружения особи себе подобной. При этом,

$$D(a) \approx 1 - \exp[-n_0 \cdot a^2 \cdot I(0) / 2],$$

где $a = I_C / \sqrt{\sigma^2 + I_{Ш}^2}$ – отношение «сигнал / шум», I_C^2 , $I_{Ш}^2$, σ^2 – интенсивности, соответственно, сигнала, внешних и внутренних шумов при взаимодействии особей на сенсорном уровне; $I(0)$ – константа, связанная с видом распределения случайного соотношения «сигнал / шум»; n_0 – среднее число наблюдений для принятия решения об отсутствии сигнала (нарушения целостности m -стаи).

Пусть τ_i – случайное число дискретных моментов времени Δt i -ой атаки хищника, в результате которой он изымает из стаи порцию Δm_i особей.

В результате k таких атак за случайное время $\tau = \sum_{i=1}^k \tau_i$ энергетические «потери» (ξ) и «приобретения» (v) хищника составят:

$$\xi = e_{Ш} \tau + e_{Ох} \sum_{i=1}^k \Delta m_i = e_{Ш} \tau + (e_{Ох} / e_0) v,$$

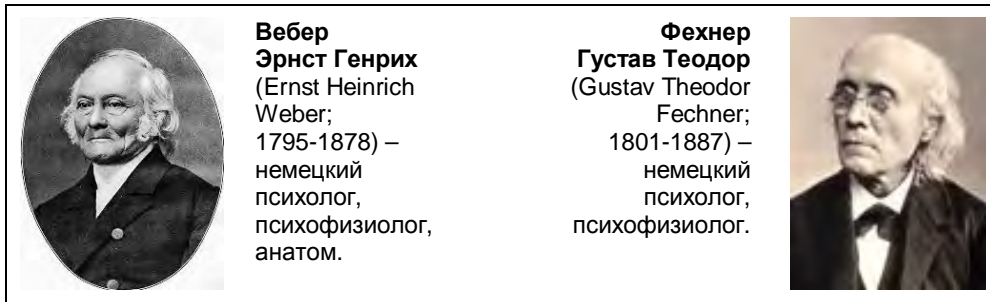
$$v = e_0 \sum_{i=1}^k \Delta m_i,$$

где $e_{Ш} = c_{Ш} \cdot E_{Ш}$ – энергетические «потери» хищника в единицу времени для создания шумов интенсивностью $E_{Ш}^2$, нарушающих целостность m -стаи (первый этап атаки); $c_{Ш}$ – некая физиологическая константа, $e_{Ох} \gg e_{Ш}$ – средние энергетические «потери» на поимку («охота») одной особи m -стаи (второй этап атаки), e_0 – коэффициент пропорциональности. При этом $E_{Ш}$ подчиняется закону Вебера–Фехнера¹⁸:

$$E_{Ш} = E_0 \exp\{[\ln(E_1 / E_0) \cdot I_{Ш} / I_*]\},$$

¹⁸ Закон Вебера–Фехнера – эмпирический психофизиологический закон, предполагающий интенсивность силы ощущения (E) пропорциональной логарифму интенсивности раздражителя (P): $E = k \log P + c$, где k и c – некие константы, определяемые данной сенсорной системой.

где $E_0 < E_1$ – диапазон приема сигнала особью на сенсорном уровне, I_* – максимальная сенсорная интенсивность.



Если предположить независимость i -ых атак хищника, то случайные величины τ_i будут подчиняться геометрическому закону распределения. Еще ряд допущений (постоянство изымаемых в результате атаки хищников особей $[m_*]$, создание хищником достаточно сильных внешних шумов $[I_{ш}^2 \gg \sigma^2]$) позволяет оценить математическое ожидание энергетических «потерь» хищника [Флейшман, 1982, с. 281]:

$$u = c_{ш} E_0 \gamma \cdot \exp\{\ln(E_1 / E_0)\} \cdot I_{ш} / I_* + n_0 I(0) m I_c^2 / (2 \cdot I_{ш}^2) + e_{ox} v / e_0$$

где рацион хищника $v = e_0 k m_*$ и

$$\gamma \approx \begin{cases} 1 & \text{при } mD \gg 1 \gg km_*D, \\ 1/(m_*D) & \text{при } km_*D \gg 1 \gg m_*D, \\ k & \text{при } m_*D \gg 1. \end{cases}$$

Соответственно, рассматривая оптимальный (u, v) -обмен (энергетические «потери» за рацион) при фиксированной суммарной интенсивности энергетических «затрат» на обмен сигналами внутри m -стаи для поддержания её целостности ($m E_C^2 = E^2 = \text{const}$), получаем

$$m_{opt}^{хищ} = e^{-2} \cdot (E/E_0)^2 = [E/(e \cdot E_0)]^2.$$

Иными словами, оптимальный размер стаи, способной «противостоять» хищнику с описанной стратегией охоты, прямо пропорционален квадрату суммарной интенсивности энергетических «затрат» на обмен сигналами внутри m -стаи для поддержания её целостности и обратно пропорционален квадрату нижней границы приема сигналов одной особью такой стаи. Столь простое (по математическим понятиям) соотношение позволяет рекомендовать его в качестве своеобразного индекса, коренное отличие которого от многочисленных «придуманных индексов» состоит в том, что он является результатом оптимизации достаточно правдоподобной модели взаимодействия в системе «стая – хищник».

Сохранение целостности m -стаи. «Ученые подсчитали, что объединение рыб в косяки, так же как синхронное групповое поведение, в 5 раз повышает выносливость (КПД) рыб по сравнению с одиночным плаванием» [Завальский, 2009]. Будем рассматривать целостность m -стаи как долговременную локализацию всех её особей в некотором α -мерном объеме $V = m \cdot h^\alpha$, где h – среднее расстояние между особями стаи ($\alpha=2$ – «плоская» стая, $\alpha=3$ – «объемная» стая). Поддержание целостности стаи подразумевает наличие некоторого информационного контакта между её особями, что можно формализовать через параметр h :

- *локализованная* модель m -стаи (расстояние между особями $h < h_1$; h_1 – параметр локализации; малое среднее расстояние между особями; контакт между любыми особями стаи примерно равнодопустим);
- *разряженная* модель m -стаи ($h > h_1$; большое среднее расстояние между особями; контакт между особями стаи возможен только со своими ближайшими k соседями – для «плоской» стаи $k = 4$, для «объемной» – $k = 6$).

Как уже отмечалось выше, взаимодействие особей внутри m -стаи может быть описано случайным графом, вершины которого и есть эти особи, а ребра – информационные связи между ними; тогда целостность m -стаи формализуется связанностью этого графа. Вероятность целостности m -стаи (в предположении независимости обнаружения себе подобных для каждой особи) равна вероятности P_{mD} связанности случайного графа и имеет следующую асимптотическую оценку [Gilbert, 1959; Флейшман, Агаджанян, 1975]:

$$P_{mD} \approx 1 - m(1 - D)^k,$$

где D – вероятность обнаружения особи себе подобной; $k = m - 1$ для случая, когда каждая из m вершин графа может быть соединена ребрами с любой из оставшихся $(m - 1)$ -й вершиной (локализованная модель), и $k = 2\alpha$ ($\alpha = 2, 3$ и, напомним, является размерностью пространства), т. е. может быть соединена только с ближайшими к ней вершинами (разряженная модель). Замечу, что для фиксированной вероятности D (не зависящей от m), следует два различных варианта оценки P_{mD} при $m \rightarrow \infty$:

$$P_{mD} \rightarrow \begin{cases} 1 & \text{для локализованной } m\text{-стаи, } k = m - 1, \\ \geq 1 - \exp[-(m^{1/\alpha} - 1) \cdot \ln m] \rightarrow 0 & \\ \text{для разряженной } m\text{-стаи, } k = 2\alpha = \text{const.} & \end{cases}$$

Целый ряд предположений (имеется разряженная стая при наличии эффекта, называемого «хором»¹⁹ [суммарный внутренний сигнал m -стаи, являющийся суммой сигналов от отдельных особей, «подтверждающих» их присутствие в стае], этот суммарный сигнал затухает в соответствии с показательным законом [см. выше соотношения для коллективного обнаружения особями m -стаи внешних «пятен» пищи; в частности, коэффициент c_2], стая велика [m велико], вероятность пропуска сигнала $1 - D = 1 - D(h, h_1)$ убывает, асимптотически стремясь к $1 - D_1$ [D_1 – вероятность обнаружения сигнала «внутри» стаи], отношение «сигнал / шум» [$a = I_c / \sqrt{\sigma^2 + I_{III}^2}$] близко к нулю) позволяет определить оптимальную численность стаи, при которой вероятность её целостности P_{mD} максимальна:

$$m_{opt}^{целост} = \exp[d_2 + d_1(\sqrt{1 + 4k/d_1} - 1)/2],$$

где константы d_1 и d_2 определяются соотношениями:

$$d_1 = 2 \cdot K(F_1, D_1) \cdot \ln \frac{h}{h_1} \cdot \frac{as}{a-s},$$

$$d_2 = \frac{as}{a-s} \left[\ln \frac{h_1}{r_*} - \frac{1}{s} \cdot \ln(E_* c_{as} / E_0) \right],$$

$E(r) = E_*(r/r_*)^{-s}$ – показательный закон затухания сигнала с ростом расстояния r , E_* , r_* , s – параметры этого закона; E_0 – нижняя граница диапазона приема сигналов особью на сенсорном уровне; $k(F_1, D_1)$ – функция следующего вида с оценками:

¹⁹ Один из пионеров исследования звуковых сигналов и эхолокации у китов и дельфинов **К. Норрис** так описывает первые впечатления «об услышанном»: «Ко всеобщему удивлению, ученые обнаружили, что море отнюдь не является сферой безмолвия, как это представлялось раньше, а напротив, наполнено множеством самых разнообразных звуков. Хор рыб-крокеров, издающих хриплые звуки, отчетливо слышался в гидрофонах, установленных на береговых постах акустического слежения, – это приводило гидроакустиков в полную растерянность, "странное скуление и повизгивание горбачей" смущало акустиков на Гавайских островах. Но очень скоро пощелкивание и свист дельфинов уже повсюду стали воспринимать как нечто обычное» [Жизнь китообразных..., 1973, с. 67]. «Нестройный хор рыб-барабаничиков часто можно слышать вечерами у кавказских берегов Черного моря. Беспокойно ведут себя горбыли – ворчат, вздыхают, скрипят, по-вороньи каркают. Негромко пощелкивают малыши – морские коньки, правда, не все, а лишь некоторые виды их. Куда разговорчивее морские петухи: свистят, гудят, лают, кудахчут, как насекомки (выделено мной. – Г.Р.)» [А. Чернов, 1970, с. 210].



Норрис Кеннет
(Kenneth S. Norris;
1924-1998) –
американский
зоолог.

$$K(x, y) = x \ln \frac{x}{y} + (1-x) \ln \frac{1-x}{1-y} \approx$$

$$\approx \begin{cases} (x-y)^2 / [2y(1-y)] \approx (x-y)^2 / [2x(1-x)] & \text{при } x \rightarrow y, \\ \ln[1/(1-y)] & \text{при } x \rightarrow 0, \\ \ln(1/y) & \text{при } x \rightarrow 1, \end{cases}$$

F_1 и D_1 – вероятности «ложных тревог» и правильного обнаружения особей внутри m -стаи.

Если предположить, что $P_{mD(max)} \geq 1 - \varepsilon$, где $\varepsilon > 0$ – любое малое число, выше приведенные «устрашающие» формулы несколько упрощаются:

$$a \cdot \ln(1 - \ln \varepsilon) \leq \ln(m_{opt}^{целост}) \leq a \cdot \ln\{-k \ln[3(1 - D_1)]\}.$$

Стохастическая модель целостной стаи. В рамках модели **Парра–Бредера** (см. [Breder, 1926, 1959; Parr, 1927; Breder, Nigrelli, 1935; Радаков, 1972]) предполагается отсутствие



Парр Альберт
(Albert Eide Parr;
1890-1991) –
норвежский,
американский
морской
гидробиолог.



Бредер Чарльз
(Charles Marcus
Breder, Jr.;
1897-1983) –
американский
ихтиолог, морской
гидробиолог.

«старых антропоморфических представлений об "общественном" или даже "альтруистическом" инстинкте, согласно которым стая образуется в результате "сознательных действий" отдельных особей» [Радаков, 1972, с. 24]; считается, что стабильность стаи достигается комбинацией сил «притяжения» со стороны ближайших соседей и «отталкивания» от них при сближении на дистанцию меньше комфортной; кроме того, имеет место ориентация в одном направлении.

При исследовании стайного поведения рыб в лабораторных условиях было показано, что [Радаков, 1972]:

- структура стаи далека от правильной кристаллической решетки, хотя и отличается от чисто случайной структуры [Partridge, Pitser, 1980];
- в стае рыб нет лидера, так что организация стаи достигается групповым взаимодействием;
- стая рыб практически всегда состоит из особей одного размера, имеющих однотипные характеристики движения.

В силу факторов (а–с) в качестве простейшей модели стаи [Семовский, 1989] предлагается рассмотреть динамику системы однотипных равноправных частиц, обладающих ориентацией в пространстве. Приняв гипотезу Парра–Бредера, допускается, что каждая частица взаимодействует только со своим ближайшим соседом (может быть, с несколькими ближайшими) по закону «притяжение–отталкивание» [Семовский, 1989, с. 50]. Кроме того, вводится представление о «комфортном расстоянии», которое стремится соблюдать каждая особь-частица со своим ближайшим соседом. Если текущая дистанция больше комфортной, возникает импульс в направлении к соседу, если расстояние меньше комфортного – импульс в направлении от соседа. В силу различных причин (движение тела, неоднородность водной среды и т. п.) каждая частица в своем движении испытывает также случайные колебания, которые будем описывать процессом «белого шума». Все это позволяет записать следующую систему стохастических дифференциальных уравнений для описания динамики стаи, состоящей из N частиц:

$$\begin{aligned} dx_1 &= f(\rho(x_1, x_{(1)})) - R + d\omega_t^1, \\ &\dots\dots\dots, \\ dx_N &= f(\rho(x_N, x_{(N)})) - R + d\omega_t^N, \end{aligned}$$

где $x_i(t)$ – положение i -ой частицы в пространстве в момент времени t ; $\rho(x, y)$ – расстояние между точками x и y ; $x_{(i)}$ – ближайший сосед i -ой частицы; R – комфортное расстояние; ω_t^i – процесс «белого шума» с нулевым математическим ожиданием; функция $f(x)$ обладает следующими свойствами: $f(0) = 0$, $f(x) > 0$ при $x > 0$, $f(x) < 0$ при $x < 0$.

Данная модель легко исследуется аналитически в одномерном случае, и в варианте математических расчетов на ЭВМ – в двух- и трехмерном случаях (функция $f(x)$ берется линейной и полиномами 2-ой и 3-ей степени). Решением такой системы стохастических дифференциальных уравнений является гауссовский случайный процесс **Орнштейна–Уленбека** (процесс «красного шума»²⁰ [Uhlenbeck, Ornstein, 1930; Гардинер, 1986, с. 151]). При этом получаются достаточно содержательные выводы. В частности, разброс особей-частиц относительно центра масс ограничен, в отличие от растущего до

²⁰ *Цветной шум*, или процесс Орнштейна–Уленбека [Гардинер, 1986], также является идеализацией реальных шумовых процессов, но в отличие от белого шума значения цветного шума в два различных момента времени связаны между собой. Процесс Орнштейна–Уленбека – эргодический и стационарный. Красный шум – может быть как синонимом цветного шума, так и обозначением естественного шума, характерного для больших водоёмов – морей и океанов, поглощающих высокие частоты. Красный шум слышен с берега от отдалённых объектов, находящихся в океане.

бесконечности разброса, в случае, когда особи не координируют свое движение. При этом движение центра масс стаи также описывается процессом



Орнштейн Леонард
(Leonard Salomon Ornstein; 1880-1941) – нидерландский физик.



Уленбек Джордж
(George Eugene Uhlenbeck; 1900-1988) – нидерландский, американский физик.

Орнштейна–Уленбека, т. е. за счет координации движений короткопериодные флуктуации положения отдельных особей переходят в менее хаотическое перемещение, описываемое процессом красного шума. Спектр флуктуации скорости отдельной частицы, в котором равно присутствуют все частоты, переходит в экспоненциально убывающий спектр, т. е. происходит сдвиг в область низких частот и налицо явление самоорганизации (так, как это понимается И. Пригожиным; см., например, [Николис, Пригожин, 1979]).

Интересен и еще один вывод [Семовский, 1989, с. 51-52]: оказалось, что простой взаимный стимул к поддержанию комфортной дистанции с ближайшим соседом обеспечивает целостность стаи при численном моделировании (на плоскости и в пространстве), а за счет стохастических добавок скорости стая не распадается на подстаи. При меньших значениях дисперсии процесса белого шума стая может распасться на подстаи; при увеличении дисперсии целостность стаи увеличивается, а дальнейшее повышение приводит к нестабильному режиму, приводящему к распаду стаи на первых же шагах. Таким образом, по-видимому, имеется *оптимальный диапазон дисперсий флуктуации скорости движения отдельной особи-частицы, обеспечивающий процесс самоорганизации стаи.*

Итак, на основе построения потенциально-эффективных моделей, получены оптимальные размеры стай рыб для различных ситуаций – $m_{opt}^{пища}$, $m_{opt}^{хищ}$, $m_{opt}^{целост}$ (можно добавить сюда значение стайного поведения при миграциях, размножении и пр.), которые характеризуют «мультифункциональное адаптивное значение группового поведения животных» [Мантейфель, 1987, с. 94] и вполне соответствуют следующим наблюдениям: «Многие авторы... полагают, что стая рыбы является приспособлением к миграциям. Стайное поведение рыб... облегчает им поиск пищи и обнаружение опасности. Значительное уменьшение количества истребленных мальков уже на

вторые сутки совместного содержания их с хищниками [очевидно, в результате подражания или "обучения"] дает основание расширить представление о роли стайного поведения. Таким образом, стая у рыб имеет, по-видимому, многообразное значение. Оно, несомненно, различно для разных видов и для разных возрастных групп одного и того же вида, жизнь которых проходит в разных условиях» [Радаков, 1958, с. 69]. Эти размеры зависят как от целей «объединения», так и от целого ряда физиологических и экологических параметров, что может выступать в качестве объяснения наблюдаемой регулярности численностей однородных стай.

Принцип конкурентного исключения Гаузе – два вида не могут существовать в одной и той же экологической нише, если их экологические потребности совпадают. Данный принцип был сформулирован и экспериментально доказан на примере конкуренции двух видов инфузорий (*Paramecium aurelia* и *P. caudatum*) в 1934 г. Г.Ф. Гаузе. В терминах теории потенциальной эффективности сложных систем [Флейшман, 1971, 1982; Кибзун, 1978, 1983] принцип конкурентного исключения Гаузе формализуется следующим образом.

Рассмотрим конфликтную ситуацию между системами А и В; конфликт сводится к борьбе за некоторый важный для систем ресурс, имеющийся в ограниченном количестве $K = const$. До начала борьбы это количество ресурсов распределено между системами следующим образом: система А имеет K_A ресурсов, а система В имеет $K_B = 1 - K_A$ ресурсов. Борьба ведется отдельными «схватками» за некоторую порцию ресурсов в последовательные и дискретные моменты времени $(1, 2, \dots, t, \dots)$.

Системы А и В имеют совокупность возможных «действий», соответственно, $X=\{x\}$ и $Y=\{y\}$; на каждой паре действий (x, y) определена некоторая функция выигрыша $M(x, y)$, означающая порцию ресурса, переходящего к системе А, если системы А и В выбрали действия x и y , соответственно; естественно, что система В «получает» $-M(x, y)$ ресурсов (иными словами, В теряет эту долю ресурсов). Предполагается также, что $|M(x, y)| < \min(K_A, K_B)$, то есть при каждой «схватке» разыгрывается лишь малая доля ресурса. Борьба во времени не ограничена и заканчивается полным истощением первоначального количества ресурсов (K_A или K_B) у одной из систем, что и позволяет рассматривать эту ситуацию как интерпретацию принципа конкурентного исключения Гаузе.

Действия из наборов $X=\{x\}$ и $Y=\{y\}$ системы А и В выбирают случайно, что позволяет, в общем случае, рассматривать не сами действия x и y , а вероятности их использования $p_A(x)$ и $p_B(y)$ системами А и В, соответственно. В этом случае оптимальными (цель С) будут такие стратегии систем A_C и B_C , при которых

$$\max_{x \in X} \min_{y \in Y} M(x, y) = c_*, \quad \min_{y \in Y} \max_{x \in X} M(x, y) = c^*, \quad c_* \leq c^*.$$

Смысл этих соотношений состоит в том, что при любой стратегии y системы B_C , система A_C получит выигрыш не меньше величины

$$\min_{y \in Y} M(x, y).$$

При этом система A_C может выбирать любую стратегию x . Если для некоторых стратегий x_0 и y_0 имеем $c = c^*$, то стратегию (x_0, y_0) называют оптимальной и оптимальное количество ресурса, которое может быть получено в этом случае, будет $M(x_0, y_0) = C_C$. Оптимальными, в этом случае, будут и вероятности $p_A^0 = p_A(x_0)$ и $p_B^0 = p_B(y_0)$.

Фиксированное значение ресурса K может быть «выиграно системой» A_C (или B_C) с вероятностью близкой к единице за случайное время t , то есть $K \cong t \cdot C_C$. Таким образом, в терминологии (U, V) -обмена можно считать, что за приобретение некоторого количества ресурсов системы «расплачиваются» некоторым средним интервалом времени своего существования и мы вправе говорить о (t, K) -обмене и решать вопрос о потенциально-эффективном (t, K_0) -обмене. Другими словами, какое при фиксированном среднем времени борьбы t_0 максимальное количество ресурса K_0 почти достоверно может выиграть одна из систем?

Ответ на этот вопрос получен Б.С. Флейшманом [1971]: потенциально-эффективный (t, K_0) -обмен имеет место при:

$$K_0 = t_0 C_C = t_0 \max_{p_A} \min_{p_B} \left\{ \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} M(x, y) p_A(x) p_B(y) \right\}.$$

При этом вероятность «разорения» одной из систем (конкурентного исключения) в зависимости от времени t оценивается следующим образом:

$$P_{C(t)} \begin{cases} \leq 1 - 2^{-kt + \Theta(\log t)} & \text{при } K_0 < |H_C| \cdot t, \text{ вытесняется } A_C, \\ > 2^{-kt + \Theta(\log t)} & \text{при } K_0 > |H_C| \cdot t, \text{ вытесняется } B_C, \end{cases}$$

где

$$k = \Theta_1 \cdot \log(\Theta_1/p) + (1 - \Theta_1) \cdot \log[(1 - \Theta_1) / (1 - p)], \\ 0 \leq \Theta_1 = (K_0/t - a) / (1 - a) \leq 1,$$

где для конкурентно равноценных видов $M(x, y) = M(y, x)$ оптимальные стратегии являются равномерными распределениями с вероятностью $p = 0,5$, a – любое число, отличное от 1, H_C – математическое ожидание $M(x, y)$ при произвольных стратегиях; $H_C = (a + 1)/2$ (для дискретной бинарной игры); C_C – как уже отмечалось выше, математическое ожидание $M(x, y)$ при опти-

мальных в минимаксном смысле стратегиях. Условия вытеснения A_C и B_C будут, соответственно:

$$C_C < H_C < 0 \quad \text{и} \quad 0 < H_C < C_C .$$

Фундаментальная константа C_C (величина одношаговой игры в терминологии теории игр) при основном допущении, что $|M(x,y)| \ll \min(K_A, K_B)$, имеет смысл коэффициента линейной функции среднего накопления ресурсов от средней продолжительности игры соответствующей системы.

Модель конкуренции нескольких популяций за ресурс. Возможен еще один вариант формализации конкурентных отношений в терминах потенциальной эффективности. Обычно, скорость потребления некоторого ресурса ставится в зависимость от численности потребителей n (хищников) и размера R доступного ресурса (численности жертв) и задается феноменологически или выводится из механизмов конкретного явления (например, модели Лотки–Вольтерра). **А.П. Кибзун** [1978, 1983; Грин, Кибзун, 1984] попыталась ответить на вопрос: что может быть общим в любом сообществе потребителей? За основу моделирования принято аксиоматическое предположение: *если потребитель захватил ресурс, то тот уже не достанется другому*. Именно так понимается в данной модели конкуренция за общий ресурс (недостаток ресурса, а не специальные действия, направленные на угнетение конкурентов [например, аллелохимические взаимодействия]).



Кибзун Алла Петровна
(Alla Kibzoun; г.р. 1950) – отечественный, канадский математик, эколог, веб-программист.

Пусть $F(n,R) \cdot \Delta t$ – количество ресурса, потребляемого популяцией хищника за время Δt . Функция F возрастает по n и ограничена: $\max_n F(n,R) \leq R$; поэтому естественно считать, что скорость потребления ресурса описывается выпуклой функцией. Часто, вольтерровскую зависимость F от n и R задают выпуклой (например, экспоненциальной [Меншуткин, Кисляков, 1967]) функцией, хотя она может быть *выведена* из некоторых простых предпосылок вероятностного характера. Введем следующие обозначения [Кибзун, 1978, с. 182]:

- a_1, a_2, \dots, a_n – потребители (хищники),
- b_1, b_2, \dots, b_R – единицы ресурса (жертвы),
- $(a_i \rightarrow b_j; R, n)$ – событие «захват потребителем a_i ресурса b_j за единицу времени в условиях, когда размер ресурса R и численность потребителей n »,

- $(\bigcup_{k \neq i} a_k \rightarrow b_j; R, n)$ – «захват ресурса b_j каким-либо потребителем, кроме a_i »,
- $(a_i \rightarrow b_j; R, n)$ – «ресурс b_j не захвачен потребителем a_i ».

Кибзун [1978, с. 182-183] принимает следующие два положения:

- невозможен одновременный захват единицы ресурса несколькими потребителями, т. е. $P\{a_i \rightarrow b_j; a_k \rightarrow b_j; R, n\} = 0$;
- способность потребителя захватывать ресурс является его индивидуальной характеристикой и не зависит от поведения соседей; иными словами, условная вероятность $P\{a_i \rightarrow b_j; R, n / \bigcup_{k \neq i} a_k \rightarrow b_j; R, n\}$ равна безусловной вероятности $P\{a_i \rightarrow b_j; R, n = 1\}$; эту последнюю вероятность, не зависящую от n , обозначим α_{ij} (число α_{ij} характеризует приспособленность i -го потребителя захватывать j -ю единицу ресурса).

Легко показать, что

$$P\{a_i \rightarrow b_j; R, n\} = P\{a_i \rightarrow b_j; R, n / \bigcup_{k \neq i} a_k \rightarrow b_j\} \cdot P\{\bigcup_{k \neq i} a_k \rightarrow b_j; R, n\} =$$

$$\alpha_{ij} \cdot \left[1 - \sum_{k \neq j} P\{a_k \rightarrow b_j; R, n\} \right].$$

Отсюда, решая систему уравнений относительно $x_i = P\{a_i \rightarrow b_j; R, n\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, можно получить:

$$x_i = \frac{c_{ij}}{1 + \sum_{k=1}^n c_{kj}}, \text{ где } c_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{1 - \alpha_{ij}}.$$

Если допустить, что ресурс и потребители однородны (т. е. $c_{ij} = c$), то

$$x_i = P\{a_i \rightarrow b_j; R, n\} = \frac{c}{1 + cn},$$

т. е. с ростом n вероятность i -ому потребителю захватить ресурс уменьшается (больше шансов, что ресурс захватят конкуренты). Далее, вероятность того, что ресурс b_j будет кем-либо захвачен, равна

$$p_n = P\{\bigcup_k a_k \rightarrow b_j; R, n\} = \frac{cn}{1 + cn};$$

очевидно, что $\lim p_n = 1$ при $n \rightarrow \infty$ (когда потребителей много, ресурс почти наверняка будет захвачен). Наконец, среднее количество ресурса, получаемое i -м потребителем, равно

$$F = \frac{cR}{1 + cn}.$$

Пусть вероятность μ потребителю-хищнику выжить за единицу времени пропорциональна среднему потреблению F :

$$\mu = S \frac{cR}{1 + cn},$$

тогда среднее число выживших потребителей есть

$$n' = \mu n = \frac{ScRn}{1 + cn}.$$

Используя разложение в ряд **Тейлора** функции e^x , получаем

$$n' = ScRn \cdot e^{-cn} + O((cn)^3);$$

именно такую зависимость на основе экспериментальных данных подобрал **У. Рикер** [Ricker, 1954; Рикер, 1957, 1979; Бобырев, Криксунов, 1996], изучая выживаемость икринок (n – количество икринок, n' – количество мальков).

Пусть n_t – численность популяции в момент времени t ; тогда

$$n_{t+1} = \frac{\lambda ScRn_t}{1 + cn_t},$$

где λ – коэффициент рождаемости. А.П. Кибзун [1978] было доказано, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} n_t = \begin{cases} N, & \text{для } \lambda ScR > 1 \\ 0, & \text{для } \lambda ScR \leq 1 \end{cases},$$

где N – ненулевое решение уравнения $N = (\lambda ScRN)/(1 + cN)$. Таким образом, условием существования вида являются такие коэффициенты рождаемости (λ), выживаемости (S) и приспособленности к добыванию ресурса (c), что $\lambda ScR > 1$. Если, например, ухудшается обеспечение популяции ресурсом (уменьшается R), то для того, чтобы выжить, вид должен увеличить хотя бы один из этих коэффициентов.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда за однородный ресурс конкурируют несколько видов с численностями $n_t^{(1)}, n_t^{(2)}, \dots, n_t^{(m)}$. Используя уже рассмотренные формализмы, запишем



Тейлор Брук
(Brook Taylor;
1685-1731) –
британский
математик.



Рикер Уильям
(William E. [Bill]
Ricker;
1908-2001) –
канадский
ихтиолог, эколог.

$$n_{t+1}^{(i)} = \frac{\lambda_i S_i c_i R n_t^{(i)}}{1 + \sum_{k=1}^m c_k n_t^{(k)}}.$$

Обозначим $\beta_t = n_t^i / n_t^j$; тогда $\beta_{t+1} = \beta_t (\lambda_i S_i c_i) / (\lambda_j S_j c_j)$. Если $(\lambda_i S_i c_i) / (\lambda_j S_j c_j) < 1$, то $\lim_{t \rightarrow \infty} \beta_t = 0$.

Таким образом, численности видов ограничены ($n_t^{(j)} < \lambda_j S_j r$) и при $t \rightarrow \infty$ получаем, что $n_t^{(i)} = \beta_t n_t^{(j)} \rightarrow 0$; иными словами, вид i – вымирает. Следовательно, условием выживания вида j при конкуренции с другими видами за общий ресурс является выражение:

$$\lambda_j S_j c_j = \max_i (\lambda_i S_i c_i).$$



Росс Юхан Карлович
(Juhan Ross; 1925-2002) – отечественный, эстонский биофизик, радиобиолог, физиолог растений.



Тооминг Хейно Густавович
(Heino-Ullo Tooming; 1930-2004) – отечественный, эстонский геофизик, метеоролог, физиолог растений.

Фактически, здесь формализован принцип максимальной эффективности использования ресурса среды **Ю. Росса** [Росс, 1966, 1975а,б, 1988; Лайск и др., 1971; Бихеле и др., 1980; Росс и др., 1992] и **Х. Тооминга** [1977, 1984]. Параметр c_j характеризует способность вида добывать ресурс, а λ_j и S_j – характеристики усвоения ресурсов (произведение $\lambda_j S_j$ показывает, какая часть потребляемого ресурса накапливается видом).

Все вышеизложенное можно отнести и к сообществам видов, конкурирующим за ресурсы среды. Пусть мы имеем несколько конкурирующих видов ($n_1, n_2, \dots, n_m, \sum_i n_i = n$) за разнородные ресурсы $r_1, r_2, \dots, r_l, \sum_j r_j = r$.

Тогда среднее количество j -го ресурса, потребляемое i -ым видом, равно

$$F_{ij} = \frac{c_{ij} r_j n_j}{1 + \sum_k c_{kj} n_k} = \Gamma_{ij} n_j r_j,$$

где $\Gamma_{ij} = \frac{c_{ij}}{1 + \sum_k c_{kj} n_k}$. Этот коэффициент Γ_{ij} зависит от численностей видов

n_k ; если $\sum_k c_{kj} n_k < 1$, то $\Gamma_{ij} = c_{ij} + O(c_{ij})$. Отсюда следует, что только

когда c_{kj} малы, имеет смысл считать, что коэффициенты Γ_{ij} постоянны для ограниченных n_k ; то есть

$$\begin{cases} \Gamma_{ij} \approx c_{ij} \approx \alpha_{ij} \\ F_{ij} \approx \alpha_{ij} r_j n_i \quad \text{для} \quad n_i < 1 / \max_k c_{kj}, \end{cases}$$

и, следовательно, потребление пропорционально произведению количеств потребителей и ресурса. Таким образом, предположение в модели Лотки–Вольтерра о пропорциональности потребления ресурса произведению численностей конкурирующих видов и единиц ресурсов (произведению численностей «хищников» и «жертв»), четко формализовано.

Следует обратить внимание на то, что, принимая гипотезу о пропорциональности, мы на самом деле пренебрегаем именно конкуренцией: действительно, именно без конкуренции (если бы виды не «отнимали» друг у друга ресурс), i -ый вид «захватил» бы в среднем $\alpha_{ij} r_j n_i$ единиц j -го ресурса.

Рассмотрим следующий член в разложении Γ_{ij} по степеням n_k :

- для $m = 1$ и $l = 1$ (одновидовая популяция и однородный ресурс) получаем известную логистическую кривую роста численности популяции при ограниченном ресурсе:

$$n_{t+1} = \lambda S r n_t + \lambda S c^2 r n_t^2 + O(n_t^3) = a n_t + b n_t^2 ;$$

- для $m = 2$ и $l = 1$ (конкуренция двух видов за один ресурс) получаем классическую модель конкуренции Лотки–Вольтерра:

$$\begin{cases} n_{t+1}^{(1)} = \lambda_1 S_1 c_1 r n_t^{(1)} - \lambda_1 S_1 r c_1^2 (n_t^{(1)})^2 - \lambda_1 S_1 c_1 c_2 r n_t^{(1)} n_t^{(2)} + O(n_t^3) = a_1 n_t^{(1)} - b_1 (n_t^{(1)})^2 - d_1 n_t^{(1)} n_t^{(2)} \\ n_{t+1}^{(2)} = \lambda_2 S_2 c_2 r n_t^{(2)} - \lambda_2 S_2 r c_2^2 (n_t^{(2)})^2 - \lambda_2 S_2 c_1 c_2 r n_t^{(1)} n_t^{(2)} + O(n_t^3) = a_2 n_t^{(2)} - b_2 (n_t^{(2)})^2 - d_2 n_t^{(1)} n_t^{(2)}. \end{cases}$$

Таким образом, данный подход позволил вывести «на кончике пера» те соотношения, которые в рамках *вольтеровской математической теории конкуренции* (см. раздел 5.4) задаются (предполагаются) авторами моделей аксиоматически (изначально).

Законы системы «хищник–жертва» Вольтерра [1976]. Рассмотрим биоценоз как сложную систему A , определяемую её структурой $|A|$ и поведением \bar{A} , которая функционирует в системе-среде B ($|B|$ и \bar{B}). Пусть гибель особи биоценоза зависит от n случайных независимых событий (хищничество, паразитизм, естественная смертность, нехватка пищи и пр.) с вероятностью q_i (очевидно, что особь гибнет только от одной из причин – не может быть убита многократно; см. выше и работы [Кибзун, 1978, 1983]). Было показано [Флейшман, 1971, 1982; Брусиловский, 1975; Брусиловский, Розенберг, 1978], что вероятность гибели одной особи задается выражением:

$$Q = \left\{ 1 + \left[\sum_{i=1}^n (q_i^{-1} - 1) \right]^{-1} \right\}^{-1}.$$

Если $q_i = q = const$, то может быть получена следующая асимптотика изменения вероятности гибели особи:

$$Q(n) = \frac{1}{1 + (1-q)/nq} = \begin{cases} 0, & \text{если } q \approx 0(n^{-\gamma}), \gamma > 1, \\ const, & \text{если } q \approx const/n, \\ 1, & \text{если } q \approx 0(n^{-\gamma}), 0 < \gamma < 1. \end{cases}$$

Таким образом, при неограниченном росте числа причин смертности для того, чтобы вероятность гибели стремилась к нулю, необходимо «уменьшать» вероятность гибели особи от одной причины существенно быстрее, чем $1/n$ ($n^{-\gamma}$, $\gamma > 1$). Вероятность гибели система (особь) может уменьшить только путем расходования каких-либо ресурсов. Отсюда следует, что для выживания системы необходимо воспроизводство ресурсов с более высокой скоростью, чем скорость прироста числа причин смертности. Этот факт, полученный из модели потенциальной эффективности, интерпретируется как более быстрый рост численности жертвы, по сравнению с хищником. Иными словами, получаем объяснение этого наблюдаемого в природе явления.



**Сидорин
Александр
Петрович**
(г.р. 1946) –
отечественный
математик.

Представляет интерес и такая интерпретация вероятности Q для $n = 2$:

$$Q(2) = (q_1 + q_2 - 2q_1q_2) / (1 - q_1q_2),$$

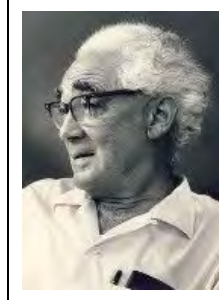
где q_1 – вероятность гибели особи от «внутренних» причин (т.е. под воздействием системы A), q_2 – вероятность гибели под воздействием факторов среды (системы B ; «внешние» факторы). Если далее допустить, что $q_1 = q_2 = q$, то $Q(2) = 2q/(1 + q)$;

Интересно, но несколько с иных позиций к сходным «потенциально-эффективным оценкам» пришли Ю.М. Свирежев и **А.П. Сидорин** [1979,

с. 852-853], которые изучали поведение «вольтерровских систем» под воздействием случайных возмущений (типа «белого шума») вблизи критических точек малых значений биомасс. В частности, они рассматривали уравнение Вольтерра для отдельного вида с учетом случайных возмущений в следующем виде:

$$\dot{y} = \gamma xy(1 - y) + \sigma xy(1 - y)\dot{\xi},$$

где y – относительная биомасса вида, x – стационарное значение биомассы, γ – коэффициент компенсации, $\dot{\xi}$ – белый шум, σ – его интенсивность; в такой формулировке модели $y(t)$ – непрерывный марковский процесс, поведение которого определяется в соответствии с **В. Феллером** [1964] коэффициентами сноса $b(y) = \gamma xy(1 - y)$ и диффузии $a(y) = \sigma^2 x^2 y^2 (1 - y)^2$. После ряда преобразований (см. [Свирижев, Сидорин, 1979, с. 853], переходная плотность вероятности при данных коэффициентах сноса и диффузии имеет логарифмически нормальное распределение в окрестности $y = 0$ (соответствует вырождению вида):



**Феллер
Вильям
[Уильям]**
(William Feller;
1906-1970) –
хорватский,
американский
математик.

$$\rho(y, y_0, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t \sigma xy}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2 x^2 t} \left[\ln \frac{y}{y_0} - \left(\gamma x - \frac{\sigma^2 x^2}{2} \right) t \right]^2 \right\}$$

со средним значением $m_y = y_0 \exp(\gamma xt)$ и дисперсией $\sigma_y^2 = m_y^2 [\exp(\sigma^2 x^2 t) - 1]$.

Аналогичный результат (логарифмически нормальное распределение) получается и в окрестности $y = 1$ (соответствует стационарному состоянию), только здесь

$$m_y = 1 - (1 - y_0) \exp(-\gamma xt) \quad \text{и} \\ \sigma_y^2 = [\exp(\sigma^2 x^2 t) - 1] (1 - y_0^2) \exp(-2\gamma xt).$$

И вот здесь проявляется аналогия с потенциальной эффективностью: рассмотрение в окрестности $y = 1$ свидетельствует о том, что среднее с ростом времени стремится к 1, а дисперсия «ведёт» себя как вероятность выгодного ($U; V$)-обмена:

$$\sigma_y^2 = \begin{cases} \text{убывает, если } \gamma > \sigma^2 x / 2 \\ \text{возрастает, если } \gamma < \sigma^2 x / 2 \end{cases},$$

что соответствует условиям устойчивости стационарного состояния.

Оптимизационная модель выживания сообщества, потребляющего ограниченный ресурс. Рассмотрим модель живучести, предложенную



**Форрестер
Джей**
(Jay Wright
Forrester;
г.р. 1918) –
американский
математик,
системолог.

А.П. Кибзун [1977, 1983; Крапивин, 1978; Флейшман и др., 1979]. Пусть V – способность сообщества добывать некоторый ресурс (например, в имитационной модели **Дж. Форрестера** [феноменологический подход; см. раздел 3.3] под V понимается размер промышленного потенциала). Обозначим через $F(V) \cdot \Delta t$ ресурс, добываемый за время Δt . Показано (см., например: [Крапивин, 1978, с. 135]), что при ряде условий,

$$dV / dt = -\theta_V V + (u_V F) / T = (u_V F - \rho V) / T ,$$

где θ_V – коэффициент износа, $T = b_1^{-1}$ – ресурс, который затрачивается на создание новой единицы V , $b_1 = V_{1+\Delta t} / V_1$ – коэффициент воспроизводства, $u_V = u_\Delta + u_n$ – доля V , направляемая на обеспечение функционирования и развития промышленного потенциала (u_Δ) и удовлетворение нужд сообщества (u_n), $\rho = \theta_V T$.

При аналогичных допущениях воспроизводство численности сообщества описывается следующим образом:

$$dn / dt = (u_n F - \lambda n) / m ,$$

где m – ресурс, способствующий рождению новой единицы сообщества, $\lambda = \theta_n m$ – ресурс, необходимый для удовлетворения нужд единицы сообщества.

Анализ системы уравнений dV/dt и dn/dt позволяет сделать следующие выводы:

- при постоянном промышленном потенциале V численность сообщества выходит на стационарный уровень $n_V = (F - \rho V) \lambda^{-1}$;
- при росте V , когда доля вкладов u_V постоянна, $F(V)$ – выпуклая функция и $u_n F'(0) > \rho$, также существует $\lim_{t \rightarrow \infty} V(t) = V^* > 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} n(t) = n^*_{V^*}$;
- увеличение промышленного потенциала (V) после того, как он достигнет значения $V(\rho)$, невыгодно, т. к. оно влечет больший рост удовлетворения нужд сообщества.

Если мы имеем систему из нескольких функционирующих на одном ресурсе сообществ, то в конкурентной борьбе выживает j -ое сообщество, для которого $\rho_j = \min_{1 \leq i \leq k} \rho_i$. Таким образом, конкурентная борьба вынуждает сообщество уменьшать ρ (не просто наращивать V , а качественно развивать его). При этом быстро растет λ (увеличиваются затраты на образование, управление и пр.). Если $\rho \rightarrow 0$ и $\lambda \rightarrow \infty$, то

$$\max(n^* v^*) = (F - \rho V(\rho)) \lambda^{-1} \leq R \lambda^{-1} \rightarrow 0 \quad (\rho \rightarrow 0);$$

иными словами, при ограниченном ресурсе развивающееся сообщество вымирает. Собственно говоря, именно в этом и состоит противоречивость развития сообщества с ограниченным ресурсом.

Замечательной особенностью этих выводов является то, что *они получены аналитически*, в то время как Форрестеру потребовалось строить имитационную модель и разрабатывать специальное математическое обеспечение для ее реализации.

Пример 10.2.1. Закон оптимизации предотвращения катаклизмов.

Рассмотрим биоценоз как сложную систему A , взаимодействующую с системой-средой B . Будем считать, что «целью» такого биоценоза является нормальное функционирование на протяжении некоторого интервала времени $[0, t]$, где t может быть конечной, бесконечной или же случайной величиной. Функционирование биоценоза, как уже отмечалось (глава 5, пример 5.3.6), протекает в среде, в которой могут возникнуть события, представляющие угрозу его нормальному функционированию – будем называть их *катаклизмами*.

Условие нормального функционирования биоценоза на протяжении интервала времени $[0, t]$ состоит в осуществлении одного из двух следующих событий:

- случайная величина X «время до наступления катаклизма» примет значение больше t ($X > t$), т. е. катаклизм на протяжении рассматриваемого интервала времени не наступит;
- случайная величина X примет значение больше того, которое примет случайная величина $Y + Z$ – «время, необходимое системе для распознавания $[Y]$ и предотвращения $[Z]$ катаклизма», и меньше $t - \{(Y + Z) < X < t\}$, т. е. система успеет подготовиться к наступлению катаклизма.

Тогда, вероятность нормального функционирования биоценоза на протяжении рассматриваемого интервала времени имеет вид [Брусиловский, Розенберг, 1978, 1979а; Розенберг, 1984]:

$$P = P(X > t) + P\{(Y + Z) < X < t\}.$$

Как было показано Б.С. Флейшманом [1982, с. 236] и уже обсуждалось выше, вероятность гибели особи от n причин задается следующим выражением:

$$1 - P(X > t) = Q(n) = \left\{ 1 + \left[\sum_{i=1}^n (q_i^{-1} - 1)^{-1} \right]^{-1} \right\}^{-1},$$

которое при $q_i = q = \text{const}$ имеет (повторюсь) следующую асимптотику изменения вероятности гибели особи с ростом n :

$$Q(n) = \frac{1}{1 + (1 - q)/nq} \begin{cases} 0, & \text{если } q \approx 0(n^{-\gamma}), \gamma > 1, \\ \text{const}, & \text{если } q \approx \text{const}/n, \\ 1, & \text{если } q \approx 0(n^{-\gamma}), 0 < \gamma < 1. \end{cases}$$

Таким образом, так как вероятность гибели система может уменьшить только путем расходования каких-либо ресурсов, для её выживания необходимо воспроизводство ресурсов с более высокой скоростью, чем скорость прироста числа причин смертности. Это объясняется следующим образом. При увеличении числа катастроф с n на $(n + 1)$, для того, чтобы вероятность выживания системы осталась прежней – $P(n) = 1 - Q(n)$, – необходимо выделять ресурсы не только на предотвращение $(n + 1)$ -й катастрофы, но и на уменьшение вероятностей гибели системы q_i ($i = 1, 2, \dots, n$) от прежних катастроф.

Обозначим законы распределения случайных величин X и $(Y + Z)$, соответственно, $F_X(\tau)$ и $F_{Y+Z}(\tau)$. Тогда (см. выше главу 5, раздел 3)

$$P\{(Y + Z) < X < t\} = 1 - F_X(t) + \int_0^t F_{Y+Z}(\tau) dF_X(\tau).$$

При этом Z (время на предотвращение катаклизма) случайно только в силу случайной природы факторов, действующих на время подготовки. Учитывая это соотношение, q_i раскрываются в рамках нашей модели следующим образом:

$$q_i = 1 - p_i = F_{X_i}(t) + \int_0^t F_{Y_i+Z_i}(\tau) dF_{X_i}(\tau),$$

где X_i , Y_i , Z_i имеют прежний смысл применительно к i -ой катастрофе, причем, все они – независимы между собой. Задача предотвращения катастроф как вероятностная «задача успеваемости» была сформулирована **П.М. Брусиловским** [1975]. Задавая различные законы функциям распределения $F_{X_i}(t)$



**Брусиловский
Павел
Михайлович**
(г.р. 1947) –
отечественный,
американский
математик,
системолог,
эколог.

и $F_{Y_i+Z_i}(t)$ можно синтезировать некоторые «индексы климаксовой адаптации» для ранжирования экосистем по оси их устойчивости [Брусиловский, Розенберг, 1979а]; см., также, пример 5.3.6.

Рассмотрим случай, когда X_i и $Y_i + Z_i$ подчиняются нормальному закону распределения с параметрами m_{X_i}, σ_{X_i} и $m_{Y_i+Z_i}, \sigma_{Y_i+Z_i}$, соответственно. Тогда, при $t \rightarrow \infty$

$$P(Y + Z < X) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{m_X - m_{Y+Z}}{\sigma_X + \sigma_{Y+Z}}\right),$$

где $\Phi(\dots)$ – монотонно возрастающая и нечетная функция Лапласа. Таким образом, если среднее время наступления стресса m_X меньше среднего времени подготовки m_Z , то максимальная вероятность нормального функционирования системы, существованию которой угрожает этот стресс, оказывается строго меньше 0,5; в противном случае, эта вероятность в итоге расходования соответствующего количества ресурсов может быть сделана как угодно близкой к 1.



Лаплас
Пьер-Симон
(Pierre-Simon
Laplace;
1749-1827) –
французский
математик,
астроном.

Рассмотрим случай, когда цель системы – нормальное функционирование на промежутке времени $[0, T]$, где T – уже случайная величина с законом распределения $F_T(\tau)$, независящая от X_i, Y_i, Z_i . Обозначим через $P_i(t, R_i)$ вероятность нормального функционирования системы на протяжении времени $[0, t]$ в предположении, что система может погибнуть только от наступления i -го стресса и что система израсходует на подготовку к нему количество ресурса R_i . Тогда,

$$P_i(t, R_i) = 1 - F_{X_i}(t) + \int_0^t F_{Z_i}(\tau, R_i) dF_{X_i}(\tau),$$

и вероятность нормального функционирования системы в этом случае –

$$P(R) = \prod_{i=1}^n \int_0^\infty P_i(t, R_i) dF_{X_i}(\tau), \quad R_1 + R_2 + \dots + R_n \leq R.$$

Пусть

$$F_{X_i}(\tau) = 1 - \exp\left\{-\frac{\tau}{m_{X_i}}\right\} \quad \text{и} \quad F_{Z_i}(\tau, R_i) = 1 - \exp\left\{-\frac{\tau}{m_{Z_i}(R_i)}\right\}$$

т. е. и времена подготовки, и времена наступления стрессов подчиняются показательному закону. Тогда

$$P_i(Z_i < X_i) = \int_0^t \left[1 - \exp\left\{-\frac{\tau}{m_{Z_i}(R_i)}\right\} \right] \cdot \frac{1}{m_{X_i}} \cdot \exp\left\{-\frac{\tau}{m_{X_i}}\right\} d\tau =$$

$$= 1 - \exp\left\{-\frac{t}{m_{X_i}}\right\} - \frac{m_{Z_i}(R_i)}{m_{X_i} + m_{Z_i}(R_i)} \cdot \left[1 - \exp\left\{-\frac{t}{m_{X_i}} - \frac{t}{m_{Z_i}(R_i)}\right\} \right]$$

и вероятность нормального функционирования в этом случае будет

$$P(t, R) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \frac{m_{Z_i}(R_i)}{m_{X_i} + m_{Z_i}(R_i)} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{m_{X_i}} - \frac{t}{m_{Z_i}(R_i)}\right) \right] \right\}.$$

Пусть

$$m_{Z_i}(R_i) = s_i \exp(-k_i R_i), \quad i = \overline{1, n},$$

где k_i – коэффициент, который характеризует «качество» расходования ресурсов на подготовку к i -му стрессу (*эффективность подготовки системы к i -му стрессу*). Задача оптимального управления процессом подготовки системы к стрессам сводится к нахождению такого набора $\{R_i\}$, чтобы вероятность нормального функционирования системы $P(t, R)$ достигала максимума при условии $R_1 + R_2 + \dots + R_n \leq R$, $R_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$ [Брусиловский, Розенберг, 1979а].

В частном случае, когда $k_i = k = \text{const}$, $P_{\max} = (1 - \xi_0/k)^n$, где ξ_0 – решение уравнения

$$\sum \frac{1}{k_i} \ln \frac{s_i}{m_{X_i}} \left(\frac{k_i}{\xi} - 1 \right) = R.$$

Нахождение этого максимума P_{\max} позволяет заключить, что оптимальная стратегия системы при подготовке к наступлению n стрессов определяется количеством ресурсов, имеющихся в её распоряжении (кто бы в этом сомневался...). Правда, если количество ресурсов R велико, то система должна готовиться к наступлению каждого из n стрессов. При этом количество ресурсов, вкладываемое системой на подготовку к конкретному стрессу, определяется опасностью наступления этого стресса и эффективностью подготовки системы к его наступлению. При равных эффективностях большее количество ресурсов расходуется на подготовку к стрессу, опасность наступления которого больше. Если количество ресурсов, имеющихся в распоряжении системы, мало, то она должна готовиться к наступлению только некоторых стрессов (только тех, для которых справедливы, получаемые в результате моделирования, некоторые соотношения [Брусиловский, Розенберг, 1979а, с. 12]). Система начинает подготовку к наступлению стресса только в том случае, если выполняются два условия: опасность наступления этого стресса и эффективность подготовки к его наступлению достаточно велики.

В концепции устойчивости популяций [Одум, 1986; Гиляров, 1990; Розенберг и др., 1999] различают два основных подхода – *регуляционизм* (относительно стабильные популяции контролируются, в основном, зависимыми от плотности пределами увеличения популяции сверх допустимой численности) и *стохастизм* (базируется на другой гипотезе: считается, что «равновесный уровень численности» – это артефакт усреднения за длительный срок). Во втором случае, популяции, не являющиеся относительно стабильными, могут достигать устойчивого состояния лишь благодаря факторам, которые определяют нижние границы их флуктуаций. Более того, по мнению сторонников стохастизма, размещение популяций в пространстве и их динамика во времени ограничены одними и теми же факторами [в нашем случае – вероятностью $P\{(Y + Z) < X\}$]; сторонники регуляционизма считают, что размещение популяций обусловлено абиотическими факторами (не зависящими от плотности), а динамика – биотическими (как правило, зависящими от плотности [Гиляров, 1990]).

Рассмотренные модели потенциальной эффективности вполне соответствуют представлениям стохастизма при описании структуры и динамики популяций и сообществ.

3. Законы сохранения

Принципиальное отличие законов сохранения от других естественнонаучных законов нашего мира состоит в том, что они не теряют своего смысла при замене одной системы координат или отсчета на другую, то есть базируются на эвристическом принципе, позволяющем *независимо от накопленного опыта отбирать более совершенные законы*.

Иными словами, законы сохранения – это такие закономерности, согласно которым численные значения некоторых величин не изменяются со временем. Например, *закон сохранения и превращения энергии*²¹ приобрел права всеобщего закона Природы, объединяющего живую и неживую Природу в виде *первого начала термодинамики* – сохраняется энергия, а не теплота (ссылка на школьную программу: [Коршунова, 2005]). И этот закон полностью применим к экосистемам (в соответствии с законом **Б. Коммонера** [1974] «Всё должно куда-то деваться – *everything*



Коммонер Барри (Barry Commoner; 1917-2012) – американский эколог, общественный деятель.

²¹ Кроме того, в современной физике под законами сохранения, наряду с сохранением полной энергии, понимают сохранение импульса и момента импульса (они определяют динамику и галактик, и элементарных частиц), а также ряд других законов сохранения, например закон сохранения странности и некоторых квантовых чисел.

must go somewhere»), так как энергия может лишь превращаться из одной формы в другую, но она никогда и никуда не исчезает (баланс превращения энергии). *Второй закон термодинамики* (направленность перехода энергии) в экологии выражается утверждением о преобразовании концентрированной энергии в рассеянную²². Основной посылкой, в рамках которой действует этот второй закон, является изолированность системы, что для экосистем можно наблюдать лишь в достаточно редких или искусственных случаях. Наконец; *третий закон термодинамики* (недостижимость абсолютного нуля) – достаточно сложен для интерпретации на «экологическом языке».

Для законов сохранения, как, впрочем, и для любых других законов, можно установить некую иерархическую соподчиненность. Наиболее многочисленны законы, описывающие системы и явления, сформулированные на основе обобщения экспериментальных данных. Часто они носят приближенный характер, и область их применения достаточно узка. Такие законы являются *частными*. Если же абстрагироваться от внешнего эффекта и раскрыть его внутренний механизм, то целый ряд на первый взгляд не связанных явлений объединится в классы или системы. Эти системы явлений можно будет описать единым законом, называемым *фундаментальным*. Наконец, если и дальше обобщать фундаментальные законы, еще глубже уходя во внутреннюю структуру систем (объяснять явления, строить теории и выводить законы, например, биосферного уровня на «языке» атомов и элементарных частиц), то созданные на этой основе законы называют *универсальными*. Например, *теория Великого объединения взаимодействий (теория всего)*²³ [англ.

²² В экологии имеет место даже *гипотеза однонаправленности потока энергии* [Реймерс, 1990, Розенберг и др., 1999] – представление о потоке энергии через продуценты к консументам и редуцентам с падением величины потока на каждом трофическом уровне (в результате процессов жизнедеятельности). Поскольку в обратный поток (от редуцентов к продуцентам) поступает ничтожное количество от исходной энергии (не более 0,25%), говорить о «круговороте энергии» нельзя. Именно эта гипотеза выступает в качестве ограничителя прямых аналогий и оценок эколого-экономических систем в «экологической валюте» (деньги циркулируют, а энергия движется в одном направлении [Odum, 1971, 1983, 2007]; см. также [Одум, 1975, с. 55]) и на этом основана их критика [Краснощев, Розенберг, 1990, 1999; Розенберг, 1994].

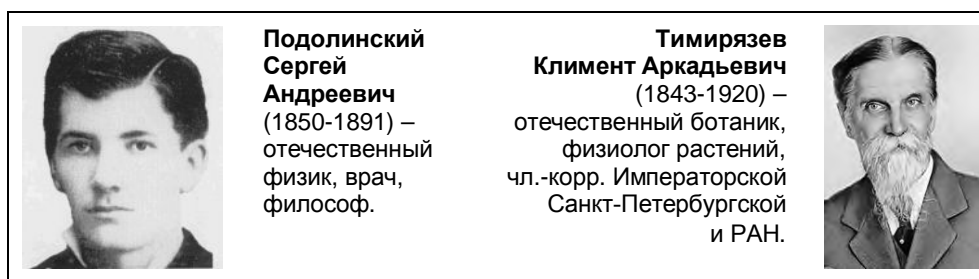
²³ Напомню, что Иеремиа – прадед Ийона Тихого (польск. *Ijon Tichy*) из научно-фантастических рассказов **С. Лема** ("Звездные дневники Ийона Тихого", Путешествие 28) – работал над «Общей Теорией Всего на Свете»...

Лем Станислав (Stanislaw Lem; 1921-2006) – польский писатель-фантаст, футуролог, философ.



Theory of Everything, TOE], *единая теория поля*) пытается объединить четыре известных взаимодействия (сильного взаимодействия, слабого взаимодействия, электромагнитной силы и силы притяжения), т. е. свести их к одной Природе [Визгин, 1985].

Однако, столь прямые «физические аналогии» уместны, как это уже подчеркивалось в главе 1, раздел 4, для простых свойств сложных закрытых систем и «не проходят» для сложных. В физических терминах концентрированную энергию можно определить как обладающую низкой степенью энтропии, т. е. характеризующуюся *меньшей степенью беспорядка* (в результате концентрации энергии происходит «выведение» беспорядка из системы во внешнюю среду). В отличие от концентрации рассеяние энергии сопровождается *возрастанием беспорядка* в системе. Если система останется закрытой, то она окажется полностью дезорганизованной (придет в состояние максимального беспорядка, соответствующего установлению теплового равновесия в системе). Именно этим обстоятельством были вызваны попытки «расширения» термодинамических представлений применительно к открытым биосистемам вообще, и экосистемам – в частности.



Пытаясь найти естественнонаучные основы социализма, одним из первых энергетический подход к экономическим и биосистемам применил **С.А. Подольский**, который в 1880 г. в своей монографии [Подольский, 1991] развил идеи об энергетике жизни, возможностях измерения в физических величинах экономических процессов и автотрофности человечества (последние идеи развивали в своих работах В.И. Вернадский, Д.И. Менделеев, **К.А. Тимирязев**²⁴ и др.). Подольский подчеркивал, что человек способен сознательно увеличивать количество энергии, накапливаемой на земной по-

²⁴ Не удержусь и приведу цитату из публичной лекции К.А. Тимирязева [1957, с. 53-54], прочитанной в 1883 г. и посвященной столетию открытия круговорота углерода в природе: «В далеком будущем получим возможность судить и о том, насколько совершенны те искусственные процессы получения органического вещества, которые, конечно, рано или поздно, подражая растению, выработают физика и химия... Тогда станет понятно, что каждый луч солнца, не уловленный нами, а бесплодно отразившийся назад в мировое пространство, – кусок хлеба, вырванный изо рта отдаленного потомка...».

верхности: «Мы вовсе не будем здесь входить в рассмотрение спорных пунктов, касающихся первого появления организмов. Укажем только на один факт, самый важный, по нашему мнению: химические лучи Солнца, недействительные по отношению к некоторым соединениям, например угольной кислоте, аммиаку и пр., при той температуре, с которой они доходят на земную поверхность, получают способность разлагать их при помощи растений. Следовательно, мы были только относительно правы, говоря прежде, что эти лучи все отражались или превращались в теплоту. Так оно было вначале, но, зная зависимость химических действий от разных обстоятельств, кажушихся побочными, например продолжительности действия, количества присутствующих веществ, формы их распределения, диффузии, электрических процессов и пр., мы должны предполагать, что химические лучи Солнца, недействительные для разложения углекислоты, аммиака и составных частей почвы при обыкновенных обстоятельствах, могут стать действительными при каком-нибудь *особом сочетании этих обстоятельств* (выделено автором. – Г.Р.)... Количество солнечной энергии, принимающей на земной поверхности вид энергии более превратимой, несомненно, постепенно увеличивается. Количество растений, животных, людей теперь несомненно более, чем было в эпоху первого появления человека. Многие бесплодные места возделаны и закрыты роскошной растительностью. Урожаи во всех цивилизованных странах возросли. Число домашних животных и особенно число людей значительно увеличилось. Что бы ни говорили о многочисленности стад диких животных, но несомненно, что домашние животные и люди в сумме представляют более живого вещества и потребляют большее количество питательного материала, накапливаемого растениями, чем одни дикие животные. Мы видим, правда, что существуют страны, бывшие богатыми и превращенные чуть не в пустыни, но такие факты слишком явно зависели от ошибок в хозяйстве. В общем же, нельзя не признать увеличения производительности питательного материала, заключающего запас превратимой энергии на земной поверхности, со времени появления человечества» [Подолинский, 1991, с. 25, 33].

Очень интересным в данном контексте является различие Подолинским «рассеяния» и «расхищения» энергии: «под именем расхищения энергии мы должны понимать явления, противоположные труду. Если мы называем трудом все действия, увеличивающие бюджет превратимой энергии человечества, то расхищением мы должны назвать все действия людей, ведущие к уменьшению этого бюджета. Мы говорим действия людей, потому что и помимо таких действий происходит постоянная растрата энергии в пространство, но это есть только *рассеяние*, а под именем *расхищения* мы понимаем увеличение этого рассеяния особыми действиями людей, имеющими

неизбежным своим результатом растрату *лишних* количеств энергии (*выделено автором. – Г.Р.*)» [Подолинский, 1991, с. 77].

Не останавливаясь больше на разборе этой работы, которая на много опередила свое время (отошло к интересным заметкам на этот счет П.Г. Кузнецова [1991] и к некоторым разделам монографии **О.Л. Кузнецова** с соавторами [2000]), подчеркну лишь тот факт, что она оказала заметное влияние на представления В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере.

Н.А. Умов в докладе, представленном на XI съезде русских естествоиспытателей и врачей 20 декабря 1901 г., высказал мысль о том, что «мы имеем два закона термодинамики, управляющих процессами природы; мы не имеем закона или понятия, которое включило бы процессы жизни в процессы природы. Существование в природе приспособлений отбора, восстанавливающих стройность и включающих в себя живое, должно, по-видимому, *составить содержание этого третьего закона*²⁵ (*выделено мной. – Г.Р.*)» (цит. по: [Чесноков, 2001, с. 105]). Как справедливо подчеркнул О.Л. Кузнецов с соавторами [2000], по существу, в поиске этого «закона» и лежат работы представителей «русского космизма», на которых кратко остановлюсь далее.

В 30-40-х годах прошлого века было сформулировано, так называемое, *правило десяти процентов (пирамида энергий Станчинского-Линдемана* [Дедю, 1990; Реймерс, 1990; Розенберг и др., 1999]) – среднemaxимальный переход 10% энергии (или вещества в энергетическом выражении) с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой, как правило, не ведет к неблагоприятным для экосистемы в целом и теряющего энергию трофического уровня последствиям. Это первый пример «энергетического видения» экологических проблем. «Представляет, по-моему, совершенно исключительный интерес подвергнуть биоценологическое равновесие *количественному исследованию именно с энергетической стороны*, так как эта сторона составляет, несомненно, основу всех прочих от нее зависящих явлений (*выделено мной. – Г.Р.*)» [Станчинский, 2004, с. 229]. Очень важными, в контексте обсуждаемой проблемы, представляются третий и восьмой выводы классической работы Р. Линдемана [Lindeman, 1942; Линдеман, 2004, с. 257]: «Чем



Кузнецов Олег Леонидович
(г.р. 1938) –
отечественный
геофизик.



Умов Николай Алексеевич
(1846-1915) –
отечественный
физик.

²⁵ Естественно, третье начало термодинамики не имеет отношения к «третьему закону», о котором говорил Н.А. Умов.

дальше отстоит организм от исходного источника энергии (солнечной радиации), тем менее вероятно, что он будет зависеть только от предшествующего трофического уровня как источника энергии... Эффективность консументов разных уровней (оцененная на основе весьма скудных данных), по-видимому, может возрастать на протяжении всех водных фаз сукцессии».

Таким образом, пищевая пирамида из пяти уровней дает только 10^{-5} первичной продукции. Следовательно, верхний уровень пирамиды (чаще всего, это крупные хищники) может поддерживаться только при эксплуатации очень обширных территорий – «популяция тигров не может существовать на очень маленьком острове» [Маргалев, 1992, с. 119]. Интересный образец достаточно длинной пищевой цепи (семь уровней) продемонстрирован на примере спермацетовых китов – в стратифицированных и гетерогенных условиях обитания киты «знают», как определять местонахождение крупных кальмаров, те в свою очередь «знают», как добывать себе пищу и т. д. [Маргалев, 1992].

Э.С. Бауэр [1935, с. 43, 50; Винберг, 1984; Зотин, Зотина, 1993; Левич, 1993в] сформулировал всеобщий закон биологии (*принцип устойчивого неравновесия живых систем*): «Все и только живые системы никогда не быва-



**Бауэр Эрвин
Симонович**
(1890-1937[?]) –
венгерский,
отечественный
биолог-
теоретик.

ют в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях... состояние работоспособности живых систем получается согласно приведенному нами выше принципу за счет работы самой системы. Работоспособность живых систем получа-

ется не непосредственно благодаря притоку энергии из существующего независимо от системы источника энергии. *Живая система создает источник энергии, разности потенциала, за счет существующей в системе свободной энергии.* Это означает, что она работает против равновесия системы при существующей окружающей среде. Дело в том, что источником энергии для животных организмов является, как мы знаем, химическая энергия питания, которая освобождается путем расщепления пищи (*выделено мной. – Г.Р.*)». Таким образом, Бауэр считал, что любая живая система с момента своего возникновения уже одарена неким запасом избыточной энергии по сравнению с окружающей ее неживой средой. «Эта энергия обеспечивает активность (постоянно реализуемую работоспособность), а вся работа живой системы направлена на возрастание или, по меньшей мере, на сохранение достаточного для продолжения жизнедеятельности уровня активности» [Воейков, 1997, с. 187].

В.И. Вернадский, знавший и ценивший работы С.А. Подолинского, в учении о живом веществе исследовал природный механизм накопления «свободной энергии» в биосфере, а процесс активного функционирования «концентрированной энергии» под влиянием трудовой деятельности человека изложен им в учении о ноосфере: «Уменьшение энергии, её рассеяние в виде тепла, *не имеет места в жизни* (такой, как мы её понимаем) зеленых хлорофилльных растений или автотрофных микробов, взятых в природном аспекте, т.е. неразрывно от биосферы. Наоборот, в силу факта существования этих организмов *количество свободной энергии, способной производить работу, очевидным образом увеличивается к концу их жизни* в окружающей природе ходом геологического времени. Мы видим, что создается этим путем сложный единый комплекс самодовлеющих организмов, активная энергия которых при одной и той же исходной, непрерывной, но не увеличивающейся энергии Солнца – увеличивается. Она увеличивается в ходе геологического времени. Это увеличение активной энергии сказывается в увеличении сознательности и в росте влияния в биосфере в геохимических процессах единого комплекса жизни (*выделено мной. – Г.Р.*)» [Вернадский, 1954, с. 219].

Н.Г. Холодный в 1947 г., рассматривая проблему возникновения и развития жизни на Земле, писал: «Если последовательные исторические изменения косной материи на заре существования нашей планеты в основном определялись потерей тепла, отдачей энергии в мировое пространство, то теперь, с появлением биосферы, на первый план, наоборот, выступают процессы, связанные с поглощением энергии из того же мирового пространства – главным образом в виде солнечного излучения... Значительное влияние на характер эволюции живого вещества должна была оказывать также зависимость организмов от притока



**Холодный
Николай
Григорьевич**
(1882-1953) –
отечественный
ботаник,
физиолог
растений,
микробиолог.

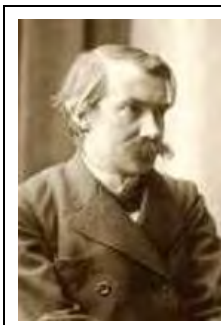
энергии извне... Количество лучистой энергии, поступающей на поверхность Земли, ограничено. Следовательно, между различными организмами, населяющими эту поверхность, с течением времени неизбежно должно было возникнуть соперничество» (цит. по: [В. Чесноков, 2001, с. 106])²⁶. И еще.

энергии извне... Количество лучистой энергии, поступающей на поверхность Земли, ограничено. Следовательно, между различными организмами, населяющими эту поверхность, с течением времени неизбежно должно было возникнуть соперничество» (цит. по: [В. Чесноков, 2001, с. 106])²⁶. И еще.

²⁶ В "Избранных трудах" Н.Г. Холодного [1982, с. 162-163] эти слова звучат сходно, но несколько иначе: «В эволюции мировых тел можно различить два основных этапа. Первый – экзотермический – сопровождается постепенным охлаждением тела вследствие отдачи им энергии (главным образом, лучистой) в мировое пространство. Это период медленных, но глубоких изменений вещества, выражающихся в постепенном усложнении состава и структуры сначала минеральных, а затем возникающих позже органических компонентов данного мирового тела. Второй этап – эндотермический – характеризуется поглощением лучистой энергии из окружающего космического пространства. Эволюция материи на этом этапе сосредотачивается главным образом в поверхностных слоях охладившегося мирового тела (планеты) – в биосфере».

«Принцип сохранения может быть распространен также на клеточный и организменный уровень, но тогда это будет уже не принцип биохимической универсальности²⁷, а более общий принцип сохранения – наследственность» [А. Козлов, 1988, с. 15].

Многие исследователи пытались на основе второго начала термодинамики объяснить функционирование и структурную организацию живой природы. Безуспешность этих попыток косвенно свидетельствует о неполноценности начала для описания живой самоорганизующейся природы [Свентицкий Иг., Свентицкий И., 2004]. И здесь важно понимание того, что «второе начало, также как и первое, взято



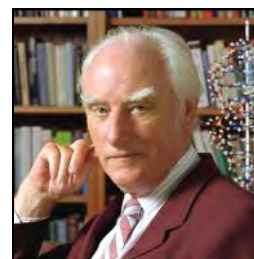
Де Кудр Теодор (Theodor Des Coudres (1862-1926) – нидерландский, немецкий физик.

только из опыта. "Это самый верный из всех известных нам *опытных законов* – писал **Де Кудр** – он вернее смерти, так как смерть – это только специальный случай второго начала"» (*выделено мной.* – Г.Р.; [Больцман, 1970, с. 324-325]); о том же говорит и один из основоположников неравновесной динамики открытых систем [Пригожин, 1985].

Наиболее конструктивной попыткой «расширения» термодинамических представлений стал переход от рассмотрения закрытых биосистем (в основе функционирования которых лежит *принцип Ле Шателье–Брауна*, сформулированный в 1884 г., – при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, в котором эффект внешнего воздействия ослабляется; [Свирижев, 1978, с. 120-125]) к принципиально *открытым системам* (обмениваются с окружающей средой энергией, веществом, информацией). Основой такого подхода стал *принцип неравновесной динамики Пригожина–Онсагера* (обсуждался Л. Онсагером в 1931 г., развит И. Пригожиным в 1947 и, особенно, в работах 60-80-х гг.). «Здесь мы подходим к одному из наших главных выводов: на всех уровнях, будь то уровень макроскопической физики, уровень

²⁷ Этот принцип был предложен в 1958 г. **Ф. Криком**.

Крик Френсис [Francis Crick; 1916-2004] – британский биолог, биохимик, врач; лауреат Нобелевской премии (1962 г.).



флуктуаций или микроскопический уровень, *источником порядка является неравновесность. Неравновесность есть то, что порождает "порядок из хаоса" (курсив авторов. – Г.Р.)*» [Пригожин, Стенгерс, 1986, с. 357]. «Если устойчивые системы ассоциируются с понятием детерминистического, симметричного времени, то неустойчивые хаотические системы ассоциируются с понятием вероятностного времени, подразумевающего нарушение симметрии между прошлым и будущим» [Пригожин, Стенгерс, 1994, с. 255-256].



Таким образом, для закрытых систем общим принципом является *второе начало термодинамики*, для открытых – *принцип Пригожина–Онсагера*. Класс закрытых (консервативных) систем весьма узок по сравнению с более широким классом диссипативных систем²⁸. Однако, класс сильно диссипативных процессов также весьма узок по сравнению с классом промежуточных процессов [Романовский и др., 1975]. Так, *принцип Пригожина–Онсагера* не описывает колебательные процессы. Иными словами, каждый из используемых «по аналогии» принципов «строгой физики» имеет свою, вполне конкретную область применения, в которой он конструктивен. Это следует обязательно помнить, перенося на экологию представления смежных

²⁸ «Диссипативные структуры существуют лишь постольку, поскольку система диссипирует (рассеивает) энергию и, следовательно, производит энтропию. Из энергии возникает порядок с увеличением общей энтропии. Таким образом, энтропия – не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации..., а при определенных условиях становится прародительницей порядка» [Горелов, 1997, с. 84].

(и не очень) дисциплин. «Предложить достаточно обоснованные и апробированные общие принципы описания биологических (*особенно экологических*. – Г.Р.) процессов сейчас еще нельзя. Мы не сомневаемся, тем не менее, в том, что достаточно общие и в то же время конструктивные принципы будут найдены. Эти принципы должны отражать специфику биологического объекта, и их нельзя "вывести" ни из принципов механики, ни из начал термодинамики. Связано это с тем, что биологические системы не являются ни полностью динамическими, ни эргодическими... Дело просто в том, что в новой области, описывающей весьма специфические объекты, целесообразно сформулировать свою систему достаточно конструктивных исходных положений» [Романовский и др., 1975, с. 334].

Интересно, что данный принцип неравновесной динамики сторонниками классического термодинамического подхода (их называют еще *креационистами*) принимается «в штыхы». Они считают, что никакой альтернативы термодинамики просто не может быть. Но тогда справедлив вопрос «с философским оттенком»: вся эволюция биосферы – это «тормозящийся и флуктуирующий, но неотвратимый спад в океан энтропии или трудное и геологически длительное всплывание из этого океана по пути минимального производства энтропии и создания тем самым все большего количества порядка, структурированности и, позволим себе сказать, красоты, обычно именуемой негэнтропией?» [Стебаев, 1993, с. 136]. Сам Пригожин [1985, с. 229] отвечает на него так: «*Вопрос о том, что физически реализуемо и что нереализуемо, эмпирический (выделено мной, хотя и вся фраза у Пригожина дана курсивом. – Г.Р.)*». И еще одна цитата: «Наша схема (*неравновесная динамика открытых систем. – Г.Р.*) *не априорна (выделено мной. Г.Р.)* – она выводима из некоторой логической структуры. Разумеется, в том, что в природе реально существуют диссипативные структуры, нет никакой логической необходимости. Однако непреложный "космологический факт" состоит в следующем: для того чтобы макроскопический мир был миром обитаемым, в котором живут "наблюдатели", т. е. живым миром, Вселенная должна находиться в сильно неравновесном состоянии. Таким образом, наша схема соответствует не логической или эпистемологической истине, а относится к нашему состоянию макроскопических существ в сильно неравновесном мире» [Пригожин, Стенгерс, 1986, с. 372].

Пусть физики решают свои проблемы, но мне представляется, что второй вариант («всплывание») выглядит более приемлемой теоретической схемой для приложения в экологии. Косвенным подтверждением тому является рост биоразнообразия за последние 400 млн. лет [Стебаев и др., 1993, с. 136], нарастание совершенства организации живых существ и пр. Интересно, что Р. Маргалев [1992, с. 30] видит «противостояние классической и не-

классической термодинамики» в ответе на вопрос: «образуется ли нечто новое при переходе от процесса к структуре?». И тот же вопрос, но в более общей, философской форме (с. 25): «Но если действительную сложность экосистем или социальных структур человечества невозможно легко вывести из порождающих процессов и если такая сложность важна, то что можно ожидать от научного подхода к изучению систем, имеющих историю?».

Наконец, «энергетический аспект» экологических проблем не может обойтись без указания на работы **Г. Одума** и, прежде всего, на его *принцип максимизации энергии*²⁹ [Odum, Pinkerton, 1955; Odum, 1973; Реймерс, 1990; Розенберг и др., 1999] – в «соперничестве» с другими экологическими объектами выживают (сохраняются) те из них, которые наилучшим образом способствуют поступлению энергии и используют максимальное ее количество наиболее эффективным способом. «С этой целью система:



**Одум
Говард**
(Howard
Thomas
Odum;
1924-2002) –
американский
зоолог,
эколог,
гидробиолог.

- создает накопители (хранилища) высококачественной энергии;
- затрачивает [определенное количество] накопленной энергии на обеспечение поступления новой энергии;
- обеспечивает кругооборот различных веществ;
- создает механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и ее способность приспособления к изменяющимся условиям;
- налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребности в энергии специальных видов» [Г. Одум, Э. Одум, 1978, с. 72-73].

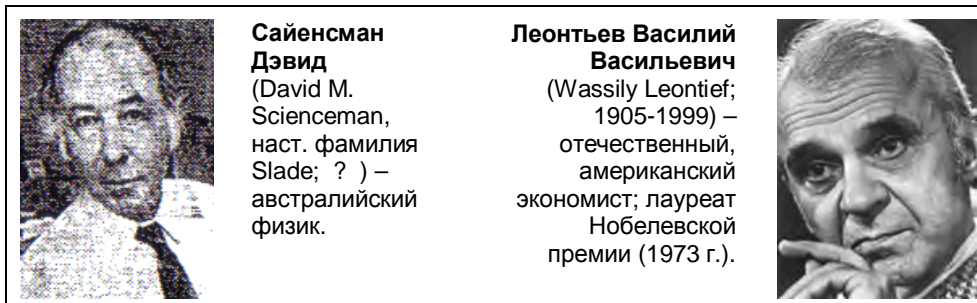
Следует заметить, что этот принцип справедлив и в отношении информации, а вот максимальное поступление вещества как такового не гарантирует успеха экологическому объекту в конкурентной борьбе с другими аналогичными объектами.

В конце XX в. Г. Одум стал активно развивать представления об «emergy» или «eMergy» (сокращение от «**embodied energy**» – доступная, воплощенная энергия³⁰ [Odum, 1996]; в принципе, эту энергию можно называть

²⁹ Г. Одум опирался на «физическое видение» естественного отбора А. Лотки [Lotka, 1922].

³⁰ В условиях засухи 2000-х гг. в Австралии проявился интерес к применению сходных подходов к описанию динамики воды и возникновению понятия «воплощенной воды» (англ. *embodied water*).

«действительной», «виртуальной», «скрытой» или «вложенной» [англ. **em-bedded energy**]; этот термин был предложен **Д. Сайенсманом** [Scienceman, 1987, 1997]). Правда, сам методический подход к анализу emergy связан с моделью «вход – выход» (input-output model) **В. Леонтьева** [Leontief, 1966] и для описания потоков энергии через экосистему впервые был использован еще более 35 лет тому назад [Hannon, 1973].

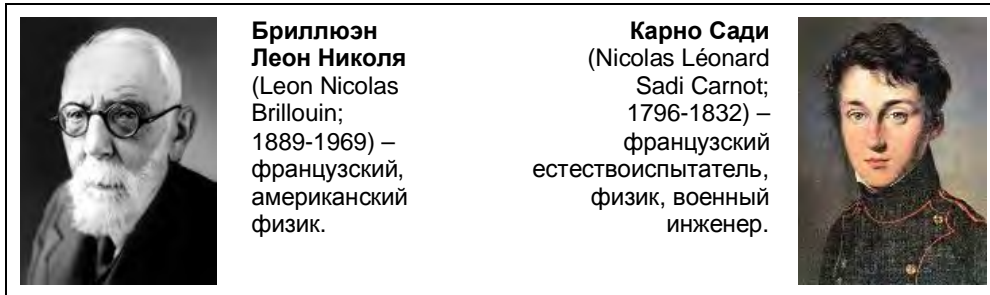


Emergy определяется как эквивалент солнечной полной доступной энергии одной формы, которая расходуется непосредственно в производственном процессе; более того, эта величина выступает в качестве «стоимости» произведенной продукции [Odum, 1996], что позволяет «на энергетическом языке» сравнивать различные по своей природе продукты. Фактически, «вычисление emergy преследует ту же цель, что и определение эксэргии [англ. *exergy* – *максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой.* – Г.Р.]: фиксация энергии, скрытой в структуре живых организмов» [Jorgensen et al., 1995, p. 103; Silov, Oh, 2002].

Отмечу, наконец, что были попытки [Г. Одум, Э. Одум, 1978] увязать решение энергетических, экономических и экологических проблем, построить экономические модели на «энергетической основе», подойти к анализу экономических проблем с точки зрения физического учения об энергии. Приведу интересный, на мой взгляд, пример из их книги. В 1973 г. в США было использовано $35 \cdot 10^{15}$ ккал энергии и «обращалось» 1,4 трлн. долл., т. е. один доллар был эквивалентен примерно 25 тыс. ккал. В 1974 г. нефть из арабских месторождений можно было приобрести по цене 10 долл. за баррель, т. е. один баррель нефти был эквивалентен примерно 1,6 млн. ккал высококачественной энергии. Следовательно, коэффициент эффективности обмена для США составлял 6,4 (1,6 млн. : 25 тыс.). При такой высокой эффективности сделки легко понять, почему США любой район мира, богатый энергоресурсами, всегда объявляют зоной своих жизненно важных интересов...

Все приведенные выше рассуждения показывают, что при «энергетическом подходе» задачи экологии, по сути дела, сводятся к изучению связи

между рассеянным солнечным излучением и экосистемами, а также процессов последовательного превращения менее концентрированных форм энергии в более концентрированные. Еще раз подчеркну, что все это имеет место лишь для *простых свойств сложных систем*, так как законы сохранения по своей сути «аддитивны». **Л. Бриллюэн** (цит. по: [Шамбадаль, 1967, с. 262]), обобщая особенности термодинамики живой природы, писал: «Принцип **Карно** есть смертный приговор: он грубо и безжалостно применяется в неживом мире, в мире, который уже заранее мертв. Жизнь на время отменяет приговор. Она использует то обстоятельство, что смертный приговор объявлен без указания срока исполнения».



4. Принципы симметрии

«Само понятие симметрии сложилось при изучении живых организмов. По преданию, за несколько столетий до нашей эры **Пифагор из Региума** создал понятие и само слово «симметрия» для выражения красоты человеческого тела и красоты вообще. Здесь были найдены ещё древними греками числовые закономерности, которые дальше и до сих пор не поддались охвату обобщающей математической мысли» [Вернадский, 1938].

Симметрия – категория, обозначающая процесс существования и становления в определенных условиях и в определенных отношениях между различными и противоположными состояниями явлений мира тождественных объектов. Это определение накладывает методологические требования: при изучении явления, события, состояния движущейся материи, прежде всего, необходимо установить свойственные им различия и противоположности, затем уже раскрыть, что в нем есть тождествен-



ного и при каких условиях и в каких отношениях это тождественное возникает, существует и исчезает [Вейль, 1968; Компанеев, 1978]. Отсюда вытекают общие правила формирования гипотез:

- если установлено существование какого-то явления, состояния или каких-то их свойств и параметров, то необходимо предполагать и существование противоположных явлений, противоположных свойств и параметров;
- в свою очередь, необходимо далее постулировать, что между противоположными условиями в каких-то отношениях и условиях возникают и существуют тождественные моменты.

В этих двух правилах выражается применение понятия симметрии в конкретных исследованиях.

Асимметрия – категория, обозначающая процесс существования и становления в определенных условиях и в определенных отношениях между различными и противоположными состояниями явлений мира различий и противоположностей внутри единства, тождества, цельности явлений мира. Симметрия и асимметрия дополняют друг друга, и искать их нужно одновременно: в симметрии проявляется общность свойств, а в асимметрии – их различие. «Согласно законам системной симметрии и системной асимметрии, входящим в общую теорию систем автора (ОТС[У]), абсолютно любая система абсолютно любой реальности – объективной, субъективной, объективно-субъективной, пустой – обязательно симметрична в одних и асимметрична в других отношениях» [Урманцев, 1997, с. 80].

Можно расширить понятие симметрии и назвать *группой симметрии* такие преобразования пространства и времени, при которых форма записи уравнений или комбинации физических величин остаются неизменными. Именно в этом смысле говорят о симметрии физических законов.

Еще раз напомним (см. главу 2, раздел 3), что *флуктуирующая асимметрия* (англ. *fluctuating asymmetry*) представляет собой незначительные слу-



Нётер Эмми
(Amalie Emmy
Noether;
1882-1935) –
немецкий
математик.

чайные отклонения от строгой симметрии в строении признаков, которые в норме обладают билатеральной симметрией (фактически, это форма изменчивости различий признаков между правой и левой сторонами, когда их значения нормально распределены вокруг нуля. Показатели флуктуирующей асимметрии используются в качестве

меры стабильности индивидуального развития живых организмов и для оценки качества (здоровья) среды [Захаров и др., 2007]).

Связь симметрии пространства и законов сохранения в физике была изложена Э. Нётер, которая придала ей форму фундаментальной теории: од-

нородность пространства и времени влечет законы сохранения импульса и энергии, а изотропность пространства – сохранения момента импульса и энергии. Иными словами, фундаментальность учения о симметрии (в физике) состоит в том, что каждому непрерывному преобразованию отвечает соответствующий закон сохранения. Установление связи между свойствами пространства и времени и законами сохранения выражается в *вариационном принципе*. История науки показывает, что симметрия позволяет объяснить многие явления и предсказать существование новых свойств Природы. При этом следует учитывать, что «между симметрией кристаллических многогранников и симметрией живых организмов существует коренное, глубокое различие. В первом случае мы имеем дело с выражением атомной структуры твёрдого вещества, во втором – со стремлением к организованности живого вещества, обособленно и раздельно существующего в чуждой ему косной среде биосферы» [Вернадский, 1938].

Итак, свойства симметрии пространства и времени связывают и определяют, в том числе, и физические законы сохранения: с однородностью времени связан закон сохранения энергии, с однородностью пространства – сохранения импульса, с изотропией – сохранения момента импульса. Но «экологический мир» в современном представлении (см., например, [Simberloff, 1980; McIntosh, 1991; Розенберг, Смелянский, 1997]) «видит» экологические системы гетерогенными и разно(много-)масштабными. Действительно, абсолютно все заключения относительно экологической системы зависят от масштаба, в которой её изучают. Роль масштаба была ясна и раньше (Whittaker et al., 1973; Whittaker, Levin, 1977), но то был *реально* существующий масштаб реальных сообществ. В новой экологии произошло осознание того, что масштаб может быть связан не с природой, а с наблюдаемым паттерном, соответствие которого «реальности» – отдельный сложный вопрос. В рамках «теза – антитеза» (симметрия – асимметрия?) современной экологии [Розенберг, Смелянский, 1997, с. 13] и в контексте связи симметрии с законами сохранения нас будут интересовать только два аспекта.

1. **Пространство перестало быть простым.** Пространство (как «реально-физическое», так и «абстрактно-нишевое») в классической экологии, в сущности, не отличается от геометрического евклидова пространства. Хотя еще в 20-х годах прошлого столетия В.И. Вернадским [1988, с. 210, 273] было четко сформулировано положение о неравенстве реального пространства пространству евклидовой геометрии, особенно для живых систем. При этом он имел в виду совсем не те свойства пространства, которые сказались на кризисе его понимания в экологии 80-х годов. Здесь ключевыми оказались все те же понятия масштаба и гетерогенности.

2. **Время также перестало быть простым.** В новом экологическом мире оно неотделимо от пространства. Это можно проиллюстрировать простым примером. Хорошо известно, что в полупустыне экосистема представляет собой мозаику пятен нескольких типов растительности и почв, возникшую вследствие различной степени засоления. Казалось бы – типичный пример пространственной гетерогенности. Но каждое пятно проходит последовательно все стадии засоления–рассоления. Это циклический процесс, только скорости его (или фазы) в разных пятнах не совпадают. И так, здесь наблюдается временная гетерогенность. Другой аспект – наблюдаемая структура экологической системы зависит от восприятия наблюдателем её пространственной гетерогенности, которая, в свою очередь, зависит от скорости перемещения наблюдателя относительно системы. С увеличением масштаба пространства увеличивается и масштаб времени [Kolasa, Rollo, 1991; Waltho, Kolasa, 1994]. Собственно говоря, сама мысль об интуитивном восприятии неразделимости пространства и времени в объектах всех естественных, особенно биологических, наук высказывалась, опять-таки, Вернадским [1988, с. 223]. Но в классической экологии полностью господствует ньютоновская идея абсолютного, независимого ни от чего времени. Существенно и то, что для разных элементов экологической системы (членов сообщества) масштаб времени специфичен и неодинаков, так же, как и масштаб пространства. Это накладывает такие же ограничения на правила классической экологии, как и масштабная гетерогенность пространства.

В данном контексте нелишне напомнить, что проблема биологического пространства и биологического времени во всем её объеме (с учетом симметрии законов живой природы) впервые была поставлена в выпусках "Проблем биогеохимии" и в "Биогеохимических очерках" еще Вернадским. Но особенно хочу назвать монографию **Ю.А. Урманцева** [1974], в которой дана история изучения проявлений симметрии в природе и показано положение теории симметрии в диалектике и оригинальной общей теории систем. И очень актуальной продолжает оставаться высказанная еще



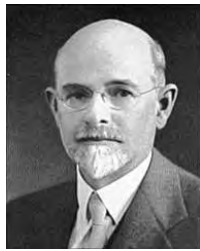
**Урманцев
Юнир
Абдуллоевич**
(г.р. 1931) –
отечественный
физиолог
растений,
системолог,
философ.

35 лет тому назад мысль автора о том, что «...уже сейчас совершенно корректно можно утверждать, что *биологических пространств не одно, а огромное, возможно бесконечное, множество (выделено автором. – Г.Р.)*... При этом можно смело ожидать нарушения в таких пространствах – по крайней мере, в неоднородных и неизотропных – типа статистик (элементарных час-

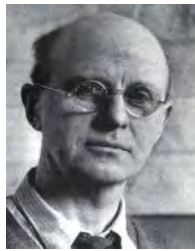
тиц), а также ряда физических законов сохранения (выделено мной. – Г.Р.), связанных с признанием однородности и изотропности пространств, в которых они реализуются» [Урманцев, 1974, с. 223].

5. Законы связи новых и старых теорий

Одним из важнейших этапов в динамике научных теорий является их взаимная смена. Любая теория имеет вполне определённое время активного существования («время жизни»), по истечении которого на «передний край науки» выходит другая, более совершенная теория, а старая обретает границы применимости или даже вообще отбрасывается [Мамчур, 1975; Федулов, 2003]. В случае «поглощения» новой теорией старой, из последней переходит некоторое «ядро», которое включает абстрактные объекты (примером может служить «включение» в последующие теории и развитие представлений об «эко-логической нише» – от пространственной Дж. Гринелла [Grinnell, 1917] через трофическую Ч. Элтона [Elton, 1927] к многомерной Дж. Хатчинсона [Hutchinson, 1957]), законы сохранения (представляется, что любая экологическая теория будет включать законы взаимодействия популяций в рамках модели Лотки–Вольтерра); при этом, в «новых» теориях «старым» понятиям и закономерностям будет придано большее экологическое содержание по сравнению с тем, которыми они обладали до смены.



Гринелл Джозеф
(Joseph Grinnell;
1877-1939) –
американский
зоолог, орнитолог.



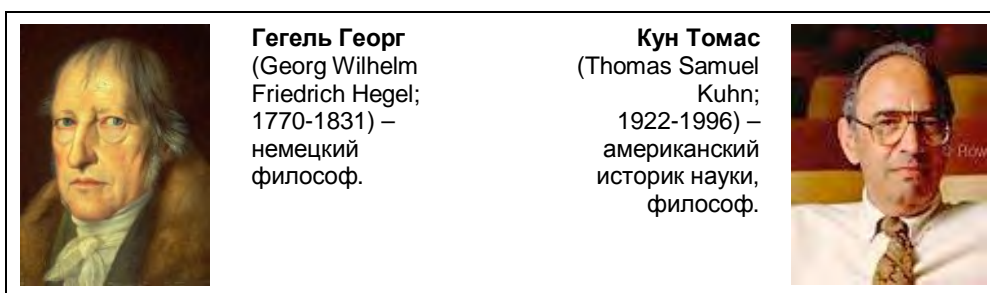
Элтон Чарльз
(Charles Sutherland
Elton; 1900-1991) –
британский
зоолог, эколог.



Хатчинсон Джордж
(George Evelyn Hutchinson;
1903-1991) – британский,
американский эколог,
гидробиолог, лимнолог.

Вспомним один из классических законов диалектики, сформулированный Г. Гегелем, – закон отрицания отрицания, который «есть закон, действием которого обуславливается связь, преемственность между отрицаемым и отрицающим, вследствие чего диалектическое отрицание выступает не как голое, "зряшное" отрицание, отвергающее все прежнее развитие, а как условие развития, удерживающего и сохраняющего в себе всё положительное содержание предшествующих стадий, повторяющего на высшей основе

некоторые черты исходных ступеней и имеющего в целом поступательный, восходящий характер (*выделено мной. – Г.Р.*)» [Гегель, 1939, цит. по: Константинов и др., 1981, с. 109]. В процессе формирования новых теорий «старая система, являясь концентрированным выражением определённой совокупности опытных данных, оказывается принудительно навязываемой размышляющему теоретику – тем, с чем он вынужден считаться как с необходимостью, независимо от своих личных желаний и симпатий, благодаря содержащейся в ней объективной истине. Этим и предопределяется неизбежность включения старой понятийной системы в новую, более общую систему в качестве её частного предельного случая, т. е. неотвратимая реализация действия принципа соответствия» [И. Кузнецов, 1967, с. 174-175]. Таким образом, и сегодня существуют представления о том, что один из основных признаков прогресса в естественных науках связан с формулой «старая теория включается в новую как частный случай» (так называемый, *принцип соответствия*) [Раджабов, 1980]. С другой стороны, *теория научных революций* Т. Куна [1975] построена на отрицании точки зрения позитивистов, ко-



торые считают, что каждая новая теория не должна вступать в противоречие с предшествующей теорией (*эволюция* вместо *революции*). К этому следует добавить, что все рассуждения данного абзаца связаны с моделями и теориями, построенными на индуктивной основе; для дедуктивно построенных теорий в принципе не требуется подтверждение их «эмпирической справедливости» [Флейшман, 1982, с. 21] (см. также главу 1, раздел 5) и, соответственно, отпадает сама проблема связи новых и старых теорий.

Опять же, не чувствуя себя достаточно «философски подкованным», не хочу вступать в эту дискуссию, придерживаясь точки зрения «и ты прав, и

ты прав, и ты, Сара, тоже права...»³¹. Тем более что в развитии экологической науки можно выделить пять периодов (естественно, непрерывный временной ряд можно «нарезать» на различные «куски» и эта периодизация, как и любая другая, субъективна; однако она представляется достаточно удобной, так как «привязана» к значимым для экологии датам и отражает смену парадигм в экологии [Розенберг, 1992]).

- Первый период – до 1866 г. (определение «экологии» и обоснование её в качестве самостоятельной научной дисциплины). Это *подготовительный* период, период «*наивной экологии*», когда её элементы появляются в трудах ботаников, зоологов и других естествоиспытателей. Характерная черта этого периода – отсутствие собственного понятийного аппарата. Этот период завершается определением понятия «экология».
- Второй период – с 1866 по 1935 г. (определение понятия «экосистема»). Это период формирования *факториальной экологии* (или *аутэкологического редукционизма* [Гиляров, 1981]), вскрытие закономерностей отношения животных или растений к разнообразным абиотическим факторам.
- Третий период – с 1936 г. до начала 70-х годов. Это период *синэкологических исследований*, когда на передний план вышло изучение взаимоотношений популяций в экосистемах. Основой методологии становится системный подход (правда, в своем детерминированном варианте – развитие математической экологии, разнообразие аналитических и имитационных моделей экосистем). Основу этого периода составляли семь положений (см. "Небольшой философско-исторический экскурс" в главе 5, раздел 3):
 - оформление экологии как фундаментально-теоретической дисциплины,
 - представление о преимущественном нахождении природы в равновесии,
 - синэкологический подход,
 - примат конкурентных отношений,
 - малый «вес» эволюционных факторов в развитии экосистем,

³¹ В свое время **Пётр Первый** издал указ: «Пехотному офицеру, проезжающему мимо кавалерийской части, надлежит спешиться и провести коня под узцы, дабы видом своим не вызывать насмешки настоящих кавалеристов»...



Пётр I Великий (Пётр Алексеевич Романов;
1672-1725) – царь Московский, первый
император Российской империи (с 1721 г.).

- стремление к их классификации (т. е. представление о дискретности экосистем),
- превалирование детерминированных (строго функциональных) представлений о взаимосвязях компонент в экосистемах.
- Четвертый период – с начала 70-х годов до середины 80-х. В это время семи «тезам» третьего периода были противопоставлены соответствующие «антитезы»:
 - трудности в выявлении каких-то общих законов развития сообществ,
 - постоянные нарушения равновесных состояний,
 - вновь возросший интерес к популяционным (демэкологическим) исследованиям,
 - отказ от конкуренции как основного фактора формирования сообщества,
 - изучение экосистем в их развитии (включая и эволюционные факторы),
 - превалирование концепции континуума над концепцией дискретности экосистем,
 - возросшая роль случайных факторов в объяснении структуры и динамики экосистем [Simberloff, 1980].
- Наконец, пятый период – последние 20-25 лет, когда наметилась тенденция объединения представлений детерминированно-популяционного второго периода, детерминированно-синэкологического третьего и стохастическо-популяционного четвертого, что позволяет говорить о начале становления *истинно системного подхода к изучению экологических объектов*. Наиболее удачным примером такого подхода может служить вышедшая в 1986 г. и переведенная у нас в 1989 г. книга **М. Бигона** с соавторами [1989].

Естественно, что границы этих периодов весьма условны и в недрах каждого из них появлялись работы, становившиеся фундаментом следующих



Бигон Майкл
(Michael E. Begon;
г.р. 1951) –
британский
эколог.

периодов (это создает основу *эволюционной* смены парадигм). Еще одна особенность данной схемы – это сокращение длительности периодов, что отражает общую закономерность для наук, находящихся в процессе развития [Трасс, 1976, с. 199]. Наконец, первые три периода можно объединить в рамках одного этапа, где превалировали *детерминистские представления* о структуре

и динамике экологических объектов, последующие – в этап «стохастических представлений».

В какой-то степени, смена парадигм между третьим и четвертым периодами в развитии экологии может восприниматься как *революционная*. Правда, следует оговориться, что революция в экологии выглядит не столь сокрушающей и всеобъемлющей, какой она была в физике на рубеже XIX–XX вв. Вероятно, это следствие меньшей формализации и, так сказать, большей целостности экологической теории. Хотя, как видно из обстоятельного разбора В.И. Вернадским [1988] истории представлений о времени и пространстве в физике, разница не так уж велика. Во всяком случае, сегодня старая и новая парадигмы в экологии сосуществуют.

Приведенная периодизация экологии заставляет рассматривать её современное состояние (пятый период) как очень важный этап синтеза наиболее плодотворных идей всех предшествующих периодов. А.М. Гиляров [1981, с. 101], вслед за **В.А. Энгельгардтом**, называет этот период *интегративным* (думается, можно говорить и о становлении «системной экологии» именно в том качестве, как она понимается в главе 1).

Таким образом, главные тенденции изменения экологического мира следующие: от объективно существующего – к возникающему в процессе наблюдения; от детерминистического, упорядоченного, понимаемого посредством здравого смысла – к хаотическому, принципиально не понимаемому до конца; от «нормального» евклидова пространства и «обычного» ньютонова времени – к сложно устроенному неевклидову пространству-времени, отличающемуся рядом далеких от здравого смысла черт; от дискретности – к континууму; от стабильности неподвижной гармонии – к потоку нескончаемых изменений, к хаосу (от бытия – к становлению).

Сформулированные без экологической конкретики эти тенденции удивительно напоминают смену парадигм в физике (см., например, [Капра, 1994]). Действительно, «новый экологический мир» очень похож на «мир новой физики» [Налимов, 1993; Капра, 1994]). Напрашивается аналогия между классической экологией и классической физикой, простирающаяся до таких частных случаев, как двуединая природа этих наук к моменту кризиса (ньютоновская механика и термодинамика, с одной стороны, содержательный и системный подход – с другой). Нетрудно увидеть глубокое сходство между соответствующими членами этих пар. Правда, электромагнитной теории Максвелла можно лишь с большой осторожностью (и весьма поверхностно) сопоставить



**Энгельгардт
Владимир
Александрович**
(1894-1984) –
отечественный
биохимик,
академик
АН СССР.

континуалистское направление в экологии Глизона–Раменского, как сыгравшее похожую роль в подготовке идей новой парадигмы [Миркин, 1989а,б; McIntosh, 1995; Миркин, Наумова, 1998]. Но, собственно, важна не степень сходства, а его источник. А он состоит в том, что в обоих случаях происходит отказ от естественно-научного метода познания мира, от «ньютонокартезианского заклęcia механистической науки» [Гроф, 1993, с. 33], под которой здесь понимается некая очень общая, философского (методологического) уровня, общенаучная (для естественных наук) парадигма, берущая начало от И. Ньютона и **Р. Декарта** (пожалуй, это и есть то общее, что объединяет миры этих двух великих ученых и философов, несмотря на все видимые их различия и длительную полемику между их школами).



Декарт Рене
(фр. René Descartes; лат. Renatus Cartesius; 1596-1650) – французский математик, физик, философ, физиолог.

Таким образом, смена парадигм в экологии – не просто частный процесс научной революции в «узкой профессиональной подгруппе» [Кун, 1977], который может иметь значение только для членов этой «подгруппы». Она происходит в том же фундаментальном направлении, что и ранее революция в физике.

Надо учесть, что естественнонаучный метод познания и ньютонокартезианская парадигма³² в данном понимании имеют чрезвычайное значение: по сути, они определяют все существование современной европейской

³² «Всякий раз, используя термин "ньютонокартезианская парадигма", мы должны помнить, что западная механистическая наука исказила и извратила наследие обоих великих мыслителей. И для Ньютона, и для Декарта понятие о Боге было существенным элементом философии и мировоззрения... Западная наука поступила с Ньютоном и Декартом так же, как **Маркс** и **Энгельс** с Гегелем. Формулируя принципы диалектического и исторического материализма, они препарировали гегелевскую феноменологию мирового духа – оставили его диалектику, но заменили дух материей. Аналогичным образом, концептуальное мышление во многих дисциплинах предлагает прямую логическую вытяжку из ньютонокартезианской модели, но образ божественного разума, который был сердцевиной рассуждений этих двух великих людей, из новой картины исчез. Следующий за всем этим систематический и радикальный философский материализм стал новым идеологическим основанием современного научного мировоззрения» [Гроф, URL].



1. **Маркс Карл** (Karl Heinrich Marx; 1818-1883) – немецкий философ, экономист, политический журналист, общественный деятель.

2. **Энгельс Фридрих** (Friedrich Engels; 1820-1895) – немецкий философ, общественный деятель.

(а значит, и мировой) науки в привычном для нас смысле. Собственно, представление о науке и научности со свойственными им рациональностью, детерминизмом, объективностью и общим духом безграничного познания есть не что иное, как квинтэссенция ньютоно-картезианской парадигмы. В конечном счете, продуктом её является весь окружающий нас цивилизованный Мир. Можно сказать, что само осознанное видение Мира европейцами строится на этой парадигме. Поэтому отказ от нее представляет собой что-то очень существенное для нашей цивилизации и прежде всего для нашего Мира (видения этого Мира).

Впрочем, трудно сказать, что здесь первично. Быть может, смена парадигм и в науке, и в культуре вообще, – лишь одно из проявлений некоего общего процесса [Мамчур, Скорупская, 2008]. Замечу, что в XX в. начала перестраиваться не только «традиционная» европейская наука и связанная с ней культура, но и «традиционное» европейское искусство. Если позволительно говорить о смене парадигм в искусстве, то достаточно вспомнить «новую» музыку (**Густав Малер**, **Альфред Шнитке** и др.), «новую» живопись (импрессионизм, абстракционизм, **Сальвадор Дали** и др.) или «новую» литературу (**Франц Кафка**, **Альбер Камю**, **Эжен Ионеско**, **Велимир Хлебников**, **Даниил Хармс**) – полный отказ от традиции (парадигмы) рационализма, упорядоченности и реализма (объективности). Кажется, и само восприятие Мира людьми европейской культуры существенно изменилось в первой половине XX в. Не углубляясь в детали, можно сказать, что общее направление этого изменения все то же: уменьшение ценности здравого смысла, восприятие реальности (в первую очередь социальной) как абсурда, осознание не всемогущества сознания («ума»), как в смысле ограничения познания и управления внешним относительно человека или человечества миром, так и в смысле ограниченности его роли в мире внутреннем (рост роли подсознательных процессов различного рода), увеличение неуверенности во всем. Все эти тенденции весьма напоминают смену парадигм в науке.



Малер Густав
(Gustav Mahler;
1860-1911) –
австрийский
композитор,
дирижер.



**Шнитке Альфред
Гарриевич**
(1934-1998) –
отечественный
композитор,
теоретик музыки,
педагог.



Дали Сальвадор
(Salvador Felipe Jacinto
Dalí Domènech;
1904-1989) –
испанский художник,
график, скульптор,
режиссёр.



Кафка Франц
(Franz Kafka;
1883-1924) –
австрийский
писатель.



Камю Альбер
(Albert Camus; 1913-1960) – французский писатель, философ; лауреат Нобелевской премии (1957 г.).



Ионеско Эжен
(Eugène Ionesco; 1909-1994) – французский драматург, философ.



Хлебников Велимир
[Виктор Владимирович] (1885-1922) – отечественный поэт.



Хармс Даниил
(Ювачёв Даниил Иванович; 1905-1942) – отечественный писатель, поэт.

Аналогичные тенденции находим и в философии: интерес к пограничным и необычным состояниям сознания (экзистенциалисты); введение в философию бессознательного (фрейдизм и все мистически ориентированные направления) и, шире, иррационального вообще; возросший интерес к религиозно-философским системам Востока (индуистского, буддистского и даосского корней) и серьезные попытки синтеза их с западной философией или хотя бы с западным мироощущением (**Ауробиндо Гхош, Кришнамурти, Ошо, Баха-Улла...**).



Шри Ауробиндо Гхош
(англ. Sri Aurobindo Ghose; 1872-1950) – индийский религиозный философ, поэт, революционер, организатор национально-освободительного движения Индии.



Кришнамурти Джидду
(англ. Jiddu Krishnamurti; 1895-1986) – один из духовных лидеров XX в.



Ошо
(Бхагаван Шри Раджниш; хинди. रजनीश चन्द्र मोहन जैन; англ. "Rajneesh" Chandra Mohan Jain, Acharya Rajneesh, Bhagwan Shree Rajneesh, с 1989 г. – Osho; 1931-1990) – индийский религиозный философ, духовный учитель.



Баха-Улла
[«Блеск божий»] (Али Нури Мирза Хусейн; 1817-1892) – иранский основатель нового религиозного течения, провозгласивший себя девятым мировым пророком (после Кришны, Авраама, Заратустры, Моисея, Будды, Христа, Мухаммеда и Баба).

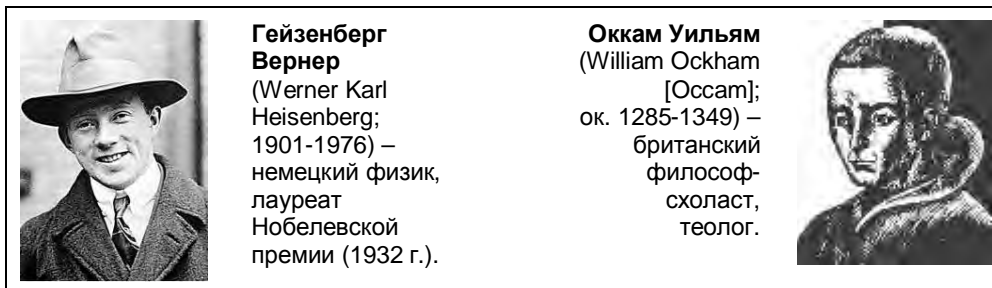
Отсюда, изменение образа экологического мира скоррелировано с неким гораздо более общим процессом изменения миров европейского сознания, что (не говоря об экологии) отмечалось неоднократно (см., например, [Гроф, 1993; Налимов, 1993; Капра, 1994]), обращая внимание на глубокую аналогию мира «новой парадигмы» с мирами мистических религиозных (и нерелигиозных) учений. Действительно ли грядет объединение этих познавательных практик в некий новый Мир? Думаю, это было бы весьма диалектично (тезис – антитезис и вот, пожалуйста, – синтез). Во всяком случае, то, что происходит с экологической картиной Мира, – закономерно и лежит в русле некой общекультурной революции, переживаемой нами сейчас.

Но вернемся к связи экологических теорий. Пять периодов в развитии экологической науки, рассмотренные выше, показывают, что методологии (парадигмы), лежащие в их основе, – «индуктивно-дедуктивные», т. е. существенную роль в них играет эмпирический базис. Таким образом, «старые» экологические теории опровергаются, или «фальсифицируются» не новыми теориями, а *новыми фактами*, полученными при расширении предметной области исследования и требующими для своего адекватного понимания обобщения имеющихся представлений. В качестве примера можно привести переход от второго (факториального) периода к последующим, когда расширился спектр экологических исследований, что потребовало введения новых представлений о закономерностях структуры и динамики экосистем (да и введения самого понятия «экосистема»).

Связь новых и старых теорий может быть хорошо продемонстрирована с привлечением *регулятивных принципов* (принципы соответствия, инвариантности, наблюдаемости, симметрии, простоты, фальсифицируемости и др.), которые выступают в роли методологических норм и идеалов научного познания. Эти принципы входят в эвристический арсенал исследования, определяя стратегию теоретического поиска, очерчивая пути изменения ранее сформировавшейся научной картины мира. С другой стороны, они служат одним из средств обоснования истинности уже полученного теоретического знания, когда выявляется согласованность последнего с принятыми в науке стандартами организации теорий и нормами их эмпирической обоснованности [Сидорина, URL].

Для физики, очень важным средством связи теорий между собой служит требование симметрии, которому подчиняются законы, соединяющие объекты теоретических схем [Федулов, 2003]. *Принцип симметрии* заключается в том, что законы, входящие в теорию, должны оставаться неизменными при осуществлении некоторых операций, которые изменяют величины закона по точно определённым правилам – уравнениям преобразования. Требование симметрии теории отнюдь не является для неё чисто формальным. Как ука-

зывает **В. Гейзенберг** [1989, с. 80], «свойства симметрии всегда имеют отношение к сокровеннейшей физической сущности теории». Можем ли мы говорить о «сокровеннейшей экологической сущности теории» – не знаю. Но действие принципа симметрии хорошо заметно, когда ищется та формулировка какого-либо закона, которая имеет большую общность [Федулов, 2003]. В процессе поисков из формулировки закона удаляется всё лишнее, частное. С этой точки зрения, требование симметрии – одна из форм *минимизации научной теории*.



Принцип простоты – эвристический принцип, обобщающий опыт познания, согласно которому при прочих равных условиях предпочтительна наиболее простая познавательная конструкция (теория, гипотеза, научно-исследовательская программа и т. п.). Принцип простоты допускает различные интерпретации – «брита **Оккама**», ньютоновская попытка сведения всего мирового многообразия к фундаментальным законам механики и теории тяготения, карнаповская эмпирическая *верифицируемость* (логический эмпиризм), попперовская *фальсифицируемость* теории и пр.

Любые модели, как некоторые абстрактные и упрощенные отражения моделируемых объектов, характеризуются реалистичностью, точностью и общностью [Логофет, 1981; Розенберг, 1984]. *Реалистичность* рассмотренных моделей подтверждается существующими экологическими представлениями и качественным соответствием модельных траекторий реальной динамике популяций и сообществ. Что касается *точности* и *общности* моделей, то эти два критерия в рамках системологии связаны обратной зависимостью – *принцип несовместимости простоты и точности описания сложных систем* (см. раздел 1.5). Аналитические модели, как правило, строятся по незначительному числу обобщенных переменных и потому трудно ожидать, что все количественные черты модели будут соответствовать динамике моделируемой экосистемы. Выбор тех или иных переменных для построения модели должен определяться, в первую очередь, *целями моделирования*. Сформулировано [Pielou, 1977] три главных мотива построения аналитических моделей в экологии:

- исследование более или менее правдоподобных предположений и гипотез о характере роста отдельных популяций и сообществ видов,
- исследование совместимости этих гипотез с наблюдаемым поведением реальных систем в природе
- качественное прогнозирование изменений естественных сообществ при различных режимах воздействия на них.

Для решения всех этих задач большая часть допускаемых упрощений выглядит оправданной и аналитические модели по праву претендуют на роль объяснительной математической теории в экологии. По-видимому, самыми простыми и минимизированными являются аксиоматические теории [Post, 1961; Федулов, 2003], но в этом контексте, даже нет проектов данных «этажей» здания теоретической экологии...

Глава 11

«ВЕРШИНА»

ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

58. Время, пространство и материя, пересекаясь друг с другом в определенных точках и являясь основными элементами существования Вселенной, образуют некоторый узел.
59. Назовем этот узел - Узлом Вселенной.
60. Говоря о себе: «я есмь», я помещаю себя в Узел Вселенной.

Даниил Хармс,
«О времени, о пространстве,
о существовании»,
первая половина 30-х годов
<http://fege.narod.ru/librarium/kharms.htm>

«Вершина» теории, как я уже отмечал в главе 7 (раздел 2), состоит из следующих основных структурных элементов [И. Кузнецов, 1967] – *объяснения совокупности известных эмпирических фактов, предсказания новых явлений и общей интерпретации основного содержания теории.*

1. Объяснение совокупности известных эмпирических фактов

Теория – в наиболее общем случае, это совокупность обобщённых положений, образующих какую-либо науку или её раздел (см. глава 7, раздел 1). Суть любой теории составляют *научные положения* – это выраженные в виде чётких формулировок основные научные результаты-сведения (как ранее известные, так и вновь выдвинутые в процессе проведенного исследования), имеющие научное объяснение. Переход от более общих к конкретным и эмпирическим знаниям и составляет процедуру объяснения.

- *Объяснение* – этап, форма научного исследования, важнейшая функция познания (в частности, научного исследования), состоящая в раскрытии сущности изучаемого объекта. В теории познания различают *структурные объяснения* (ответ на вопрос, как устроен объект), *функциональные* (как действует и функционирует объект), *причинные* или *казуальные* (почему возникло данное явление; «дать *причинное объяснение* некоторого события – значит дедуцировать описывающее его высказывание, используя в качестве посылок один или несколько *универсальных законов* вместе

с определенными сингулярными высказываниями – *начальными условиями*» [Поппер, 1983, с. 83; 2004]), *генетические* (из чего возникло это явление) и *телеологические* (зачем, для чего; «причинность традиционно противопоставляется телеологии, а каузальное объяснение – телеологическому. Каузальное объяснение обычно указывает на прошлое. "Это произошло, потому что (раньше) произошло то" – типичная языковая конструкция таких объяснений. Таким образом, в них предполагается номическая связь между причинным фактором и фактором-следствием... Справедливость каузального объяснения зависит от справедливости предполагаемой номической связи. Телеологические объяснения указывают на будущее: "Это случилось для того, чтобы произошло то". Здесь также предполагается номическая связь... Однако в отличие от каузального объяснения допущение номической связи включено в телеологическое объяснение более сложным образом, так сказать, косвенно» [Вригт, 1986, с. 116]; см. также [Гемпель, 1998; Косиков, 2000]). При этом в процессе объяснения используются уже имеющиеся знания для объяснения наблюдаемых феноменов. Итак, главный смысл объяснения состоит в «подведении» объясняемого объекта под какой-либо закон.

- *Обоснование* – цепь рассуждений, приводящих к неопровержимым выводам.
- *Доказательство* – рассуждение, имеющее целью обосновать истинность (или ложность) какого-либо утверждения.
- *Научные выводы* представляют собой итоговые утверждения, имеющие научное обоснование.
- *Соотношение* – взаимная связь между чем-нибудь.
- *Принцип* – основное исходное положение теории, учения, науки, мировоззрения и т. д. («главный» закон).
- *Концепция* – определенный способ понимания, трактовки какого-либо предмета (явления, процесса), основная точка зрения на предмет.

Что же дает нам процесс объяснения? Он, во-первых, устанавливает более глубокие и прочные связи между различными системами знаний (более подробно, это рассмотрено далее в разделе 3).

Во-вторых, позволяет понять и интерпретировать совокупность известных эмпирических фактов. Взгляд на понимание как на процесс интерпретирования выражает то представление, что слова – обычно не более, чем «намек»: задача не в том, чтобы их «расшифровать» (т. е. просто перекодировать слова; например, информационные интерпретации экологических объектов), а в том, чтобы установить, что за ними кроется [Демьянков, 1989, с. 129-130]. Причем мы «понимаем не только то, что читаем, но и во что верим» [Звегинцев, 1976, с. 301], т. е. можем констатировать непротиворечи-

вость друг другу уже построенной части модельного экологического мира, нашим «парадигмальным представлениям» (внутренней жизни и ориентации дальнейшего интерпретирования). Такого рода представление процесса объяснения находим еще у **Николая Кузанского** ("De docta ignorantia", 1440 г.): «Все наши отцы единодушно утверждают, что с веры начинается всякое понимание. Так, в любой области знания, прежде всего, заранее предполагаются некоторые принимаемые только верой первоначала, на которых строится по-



Кузанский Николай

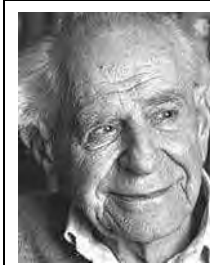
[Николай Кузанец, Кузанус] (наст. имя – Николай Кребс; Nicolaus Krebs; Nicolaus Cusanus; 1401-1464) – немецкий философ, теолог, математик, церковно-политический деятель.

нимание всех последующих рассуждений... "Если не поверите, то и не поймете", – говорит Исайя (*Книга Пророка Исайи, 7:9, LXX. – Г.Р.*)»

[Кузанский, 1979, с. 173]. Понимание не сводится к пассивному зеркальному отражению свойств системы (это было очевидно уже средневековым философам; см.: [Джохадзе, Стяжкин, 1981, с. 155]): в ин-

терпретацию вкладывается и часть внутреннего мира исследователя. Поэтому, если и говорить о понимании как о процессе «постижения смысла», то не как об «угадывании», а как о постепенной теоретической «достройке», восполнении недостающих деталей, как о «подключении» к целому. В этом контексте, вера не подменяет и не заменяет разумного понимания, никогда его не элиминирует.

В принципе, об этом же говорил в докладе на философском семинаре Кентерберийского университетского колледжа в Крайстчёрче (Christchurch; Новая Зеландия) в 1937 г. **К. Поппер** [1995, с. 118]: «люди чаще всего реагируют на проблему двояко: они либо выдвигают теорию и хранят верность ей



Поппер Карл

(Sir Karl Raimund Popper; 1902-1994) – австрийский, британский философ, социолог.

как можно дольше.., либо борются против такой теории, если поняли её слабость... Эта догматическая установка на неизменную верность теории весьма важна. Не имея такой установки, мы никогда не смогли бы уяснить суть теории, – мы отказались бы от нее еще до того, как появилась бы реальная возможность выявить

ее силу. В результате ни одна теория никогда не смогла бы исполнить свою роль, которая состоит в том, чтобы упорядочивать мир, готовить нас к будущим событиям или привлекать наше внимание к событиям, которые, не будь этой теории, мы просто никогда не научились бы наблюдать».

Таким образом, в рамках теоретического объяснения можно выделить такие характеристики, как *реалистичность* (или, наоборот, степень фантастичности), *правдоподобие*, *контраст модельного мира и реальных систем*, *активность понимания* [Демьянков, 1989]. Особенно ярко проявляется взаимодействие этих характеристик, когда на «вход» в «понимающую систему» подается принципиально новое нестандартное выражение [G. De Jong, Waltz, 1983, с. 131]:

- новые примеры известных ситуаций, никогда еще данной системой не интерпретированных (это наиболее простой случай, для которого, собственно, и строится теория; в силу уникальности экосистем и *принципа множественности моделей сложных систем* [глава 1, раздел 5], модельные описания, например, структуры гидроэкосистем озера Байкал и Ладожского озера будут отличаться конкретными списками видов, коэффициентами и уравнениями их взаимодействия, но будут сходны в теоретико-методологическом плане построения самой модели-теории; см. модели озерных экосистем [глава 3, раздел 3]);
- новые термины, которые следует понимать в данном контексте (фундаментальные понятия конкретной науки – например, «экосистема», «ценопопуляция», «сукцессия» и др.);
- сочетания слов, обозначающие нечто неизвестное интерпретатору («экологическая ниша», «биологическое разнообразие», «инвазионные виды» и др.);
- новые события и явления (когда требуется оценить их правдоподобие; например, представления о компенсации [замещении] экологических факторов в рамках факториальной экологии или впервые наблюдаемые абиссальные сгущения жизни; см.: [Розенберг и др., 1999]);
- новые последовательности целенаправленных действий (когда следует оптимизировать, по возможности, воздействия [чаще всего, антропогенные] на конкретные экосистемы);
- новые метафоры и аналогии (например, представления о городах, как о, своего рода, «паразитах биосферы» [Одум, 1986], так как их первичная продукция ничтожно мала по сравнению с гигантской энергией, которая ими потребляется).

Особую ценность представляют научные выводы, приводящие к формулированию ранее неизвестных законов и закономерностей.

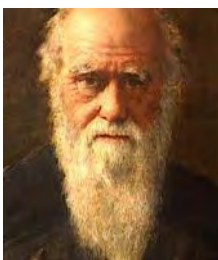
- *Закономерность* – это объективно существующая, повторяющаяся, существенная связь явлений, описанная, как правило, на качественном, содержательном уровне.
- *Закон* – необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся соотношение между явлениями. Замечу, что не всякая связь – закон (связь

может быть случайной и необходимой); закон – необходимая связь явлений. Различают законы *функционирования* (связь в пространстве, структура системы) и *развития* (связь во времени), *динамические* (детерминированные) и *статистические*. Одни законы выражают строгую количественную зависимость между явлениями и фиксируются с помощью математических формализмов, уравнений (закон всемирного тяготения), другие – не поддаются строгой математической записи (закон биогенной миграции атомов **В.И. Вернадского** или закон естественного отбора **Ч. Дарвина**). **А.А. Любищев** [1991] вообще считает законы в качественной форме не строго научными, а *преднаучными законами*, которые надлежит еще только открыть в будущем.

- *Научные рекомендации* представляют собой научные выводы предписывающего типа.



Вернадский Владимир Иванович (1863–1945) – отечественный естествоиспытатель, мыслитель; академик Императорской Санкт-Петербургской, Российской и АН СССР.



Дарвин Чарльз (Charles Robert Darwin; 1809-1882) – британский врач, естествоиспытатель; чл.-корр. Императорской Санкт-Петербургской академии наук.



Любищев Александр Александрович (1890-1972) – отечественный ученый-энциклопедист, биолог, энтомолог, философ.

Наконец, в-третьих, процесс объяснения позволяет осуществлять предвидение и предсказание будущих явлений, ситуаций и процессов (см. далее раздел 2).

Сукцессия в травосмесях. Продемонстрирую возможности теоретического объяснения конкретной экологической ситуации на примере наблюдаемых закономерностей сукцессии в травосмесях [Миркин и др., 1984, 1986, 1987, 2002; Горская и др., 1987; Миркин, Горская, 1989; Усманов и др., 1989, 1991].

Создание искусственных экосистем путем подбора и оптимизации их структуры – одно из актуальных направлений прикладной экологии. Например, создание травосмесей для газонов (при этом, различают три основных типа газонов [Газоны., 1977] – *спортивные* [устраиваемые на стадионах,

футбольных полях, теннисных кортах, площадках для гольфа, крикета, бадминтона, площадках для игр в школах и детских садах, ипподромах и пр.; Абрамишвили, 1970], *декоративные* [создаваемые в садах, дачах, парках, скверах, бульварах, лесопарках, лугопарках, на объектах жилой, промышленной, коттеджной застройки; декоративные газоны подразделяются в свою очередь на партерные, обыкновенные или садово-парковые, луговые и цветущие, мавританские газоны; Миркин, Анищенко, 1994; Кочарян, Кочарян, 2006], *специальные* [устраиваемые на аэродромах, откосах шоссе и железных дорог, гидротехнических сооружениях, рекультивируемых площадях – карьерах, свалках, фитомелиорация солончаков и т. п.; Синельников, 1998; Янтурин, 1998, 2004]). При этом, естественно, требования к газонным травосмесям различны. Например, футбольное поле должно быть густым, выдерживать большие нагрузки, мяч не должен скользить, поле для гольфа должно еще обладать и повышенными декоративными качествами, газоны специального типа, имеют, в основном, санитарно-гигиеническое значение (дернина газона закрепляет почву, травостой поглощает из атмосферы часть пыли и газов, приглушает шум, повышает относительную влажность воздуха и пр.).

Однако, пожалуй, основное применение травосмесей связано с созданием посевов многолетних трав продленного долголетия (повышенная продуктивность и устойчивость к внедрению аборигенных видов, удешевление получаемой фитомассы и пр.). «При заведении постоянных лугов, к числу главных условий успешности принадлежит умение выбрать такую смесь трав, которая наиболее прилично характеру и свойствам почвы» (выделено автором. – Г.Р.; [Бажанов, 1863, с. 186]). Именно решению последней задачи на основе *принципа программированной сукцессии* [Миркин, 1985] и были посвящены экспериментальные и теоретические работы башкирских геоботаников в 80-90-х гг. прошлого столетия [Миркин и др., 1987, 2002; Горская и др., 1987; Миркин, Горская, 1989; Усманов и др., 1989, 1991].

От естественных кормовых угодий посевы трав отличаются более высокой продуктивностью, однако их «ахиллесовой пятой» является высокая степень засоряемости и, как следствие, небольшой срок жизни (при этом, 4-5 лет вполне достаточно, если посев трав проведен в севообороте, но явно мало для искусственного сенокоса [Миркин, 1990, 1991]). В этом контексте не могу не привести две цитаты.

- Из статьи **А.М. Бажанова**⁸ "Об искусственно возделываемых лугах" 1863 г. [Бажанов, 1863, с. 186; Миркин, 1991, с. 39]: «человек может ускорить развитие одних трав, ослабить рост других и таким образом до не-

⁸ **Бажанов Алексей Михайлович** (ок. 1820-1889) – отечественный агроном, зоотехник, натуралист.

которой степени изменить естественный ход плодосменности на лугах, но он не может уничтожить её совершенно, подобно тому, как не может достигнуть того, чтобы посеянный клевер или люцерна постоянно, в течение многих лет росли и давали урожай... Чтобы получить искусственный луг, хороший и способный для продолжительного использования, необходимо выбрать для его обсеменения семена растений, как с высокими, так и с низкими, стелющимися по поверхности стеблями и притом растений, корни которых бы распределялись на всех высотах почвенного слоя, могли противостоять всем разнообразным неблагоприятным обстоятельствам, как со стороны климата, так и со стороны почвы». Легко заметить, что первая часть этой цитаты на современном экологическом языке описывает *программированную сукцессию*, а вторая – является предтечей представлений об «*экологической нише*».

- Из статьи **Т.Д. Лысенко** [1952, с. 283, 288, 299], опубликованной 15 июля 1950 г. в газете "Правда": «Наука и практика безупречно показали полезность посева многолетних трав в полевом севообороте для поднятия урожайности всех культур и для обеспечения животноводства хорошими



**Лысенко
Трофим
Денисович**
(1898-1976) –
отечественный
агроном,
селекционер;
академик
АН СССР.

кормами. Поэтому борьба за быстрое внедрение в колхозах и совхозах в полевом севообороте посева многолетних трав и получение с них высоких урожаев сена является одной из главных задач работников сельскохозяйственной науки и практики...

Травопольная система земледелия как раз тем и хороша, что *она дает возможность непрерывно повышать урожайность*, увеличивать валовой сбор продукции. *Урожайности нет предела*, и травопольная система земледелия на деле это доказывает... Многолетние травы в полевом севообороте могут быть двухгодичного использования, т. е. занимать два поля в 10-12-польном севообороте, если посевная площадь всех других, предусмотренных государственным планом, культур укладывается в площадь севооборота. Травы могут быть и одногодичного использования, т. е. занимать в севообороте одно поле, особенно когда севооборот имеет меньше десяти полей. Думаю, что последнее, т. е. введение трав одногодичного пользования, в практике найдет большее применение... *Единство агрономической биологии с колхозно-совхозным производством есть верный большевистский путь развития подлинной мичуринской науки* (выделено мной. – Г.Р.). Такая позиция «народного академика» надолго определила внедрение одно- или двухвидовых травосмесей (причем, чаще

всего клевера красного [*Trifolium pratense*] и тимopheевки луговой [*Phleum pratense*] для любых регионов нашей страны...), что, в свою очередь, для поддержания их устойчивости потребовало усиления роли химических приемов борьбы с сорняками (см., например, [Каныгин, 2007]).

Реализация принципа программированной сукцессии проводилась в нескольких опытах, заложенных в 1977 г. в условиях северной лесостепи Башкирского Предуралья, в горно-лесной и степной зонах Зауралья [Горская и др., 1987]. Высеивались несколько видов трав в чистых посевах (кострец безостый [*Bromopsis inermis*] – К, овсяница луговая [*Festuca pratensis*] – О, клевер луговой [*Trifolium pratense*] – Кл, люцерна синегибридная [*Medicago sativa*] – Л, ежа сборная [*Dactylis glomerata*] – Е), а также смесь этих видов при четырех вариантах экологических воздействий (контроль, полив, удобрение [N₆₀P₆₀K₆₀] и полив + удобрение); кроме того, исследовались и некоторые двух- и трехвидовые травосмеси (с включением тимopheевки луговой [*Phleum pratense*] – Т). Итоговым параметром, по которому оценивалась «роль» того или иного вида в структуре травосмеси, стала *оценка виолентности*⁹ – ранг долевого участия вида в составе сообщества (комплексная оценка онтогенетической, экологической и ценотической составляющих способности вида «захватывать» и «удерживать» экологическую нишу [Раменский, 1938; Работнов, 1975; Grime, 1979; Пианка, 1981; Миркин, 1983; Миркин, Наумова, 1998; Грайм, 2005; Рухленко, 2005]).

Сделаю небольшое «лирическое отступление» и еще раз процитирую А.М. Бажанова [1863, с. 194], который предложил следующую травосмесь «для кошения на плотноватых суглинках:

Тимopheевка трава, арженец

(*Phleum pratense*) 5 (доля семян в травосмеси. – Г.Р.).

Овсяница высокорослая (*Festuca elatior*) 4.

Мятлик луговой (*Poa pratensis*) 5.

Полевица белая (*Agrostis alba*) 4.

Белый клевер (*Trifolium repens*) 5.

Клевер высокорослый (*Trifolium elegans*) 8.

Люцерна пятнистая (*Medicago maculata*) 8.

⁹ По Л.Г. Раменскому, различают виды виоленты (от лат. *violent* – неистовый, склонный к насилию; вид-«лев», силовик, конкурент), пациенты (от лат. *patiens* – терпеливый; вид-«верблюду», выносливец, стресс-толерант) и эксплеренты (от лат. *explere* – наполняющий, заполняющий; вид-«шакал», рудерал).



Раменский Леонтий Григорьевич (1884-1953) – отечественный ботаник, фитоценолог, эколог.

Гусинец (*Vicia sepium*) б.

Бедренец высокорослый (*Pimpinella magna*) 5».

Легко заметить, что «травосмесь Бажанова» близка по составу к «травосмеси Миркина».

Каковы же результаты этих наблюдений (совокупность известных эмпирических фактов)?

1. Урожайность «полных» травосмесей (*КОЕКлЛ* [Миркин, 1990, с. 46-47]; см. **рис. 11.1**) на протяжении всех лет наблюдений в условиях северной лесостепи демонстрирует достаточно стабильный уровень (примерно, 40-45 ц/га на контроле и 60-70 ц/га при полном минеральном удобрении). Аналогичную картину имеем и для горно-лесной зоны (здесь урожайность в первые годы была сравнительно низкой – около 40 ц/га, а вот на шестом году использования поднялась до 100 ц/га [Миркин, 1990, с. 50]). При этом сходный характер «холмов» и «впадин» на этих графиках свидетельствует о влиянии на урожайность климатических факторов (количества тепла и влаги в год учета, осенью накануне года учета и пр.).

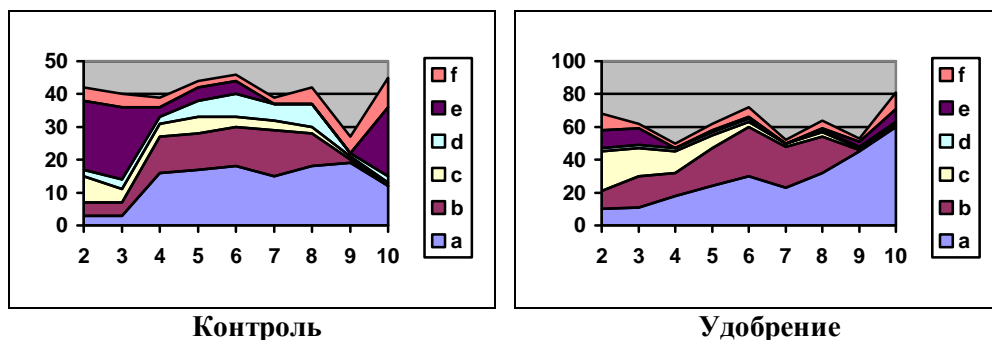


Рис. 11.1. Динамика урожайности многолетних трав в ходе сукцессии травосмеси *КОЕКлЛ*.

Обозначения: а – коострец безостый, б – ежа сборная, с – овсяница луговая, d – люцерна синегибридная, е – клевер луговой, f – внедрившиеся виды.

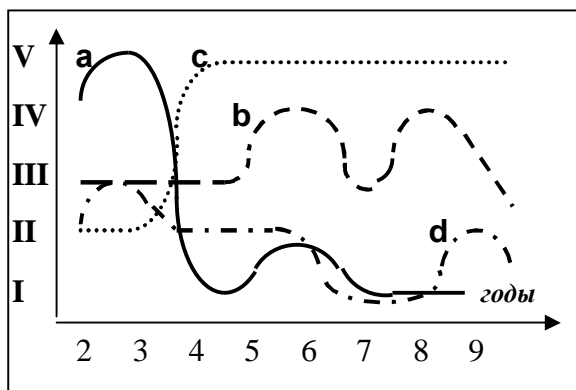
2. Травосмеси, какое бы «оптимальное» (с субъективной точки зрения экспериментатора или подобранное в соответствии с некоторой моделью) соотношение семян не было высеяно, с первого же года меняют свою структуру – «некоторые виды увеличивают свое участие в составе сообщества, другие уменьшают его» [Миркин, 1990, с. 43]. Так, для контроля (в условиях северной лесостепи) по оценке виолентности (см. **рис. 11.2**)

«выстраивается» следующая последовательность доминирования видов травосмесей:

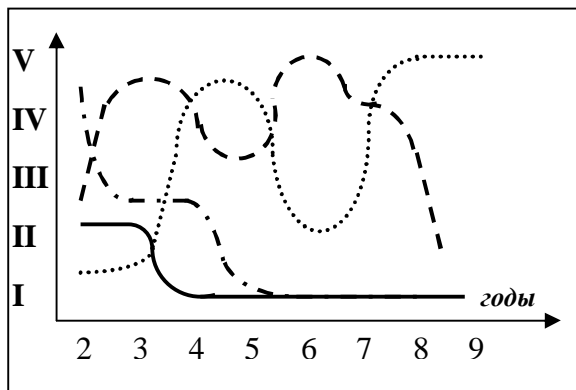
- 2-3-й годы – клевер и ежа,
- 4-5-й годы – равно представлены все виды (кроме люцерны),
- 6-й и последующие годы – кострец, ежа и (в зависимости от климатических условий), «на вторых ролях», люцерна;

на фоне удобрения:

- 2-й год – овсяница,
- 3-й год – ежа,
- 4-5-й годы – кострец + ежа,
- 6-й год – ежа,
- 7-й год – кострец + ежа,
- 8-й и последующие годы – кострец.



Контроль



Удобрение

Рис. 11.2. Динамика доминирования многолетних трав в ходе сукцессии травосмеси КОЕКлЛ.

Обозначения:

- a – клевер луговой,
- b – ежа сборная,
- c – кострец безостый,
- d – овсяница луговая.

3. Внесение удобрений влияет на тренды виолентности: оно способствует угнетению бобовых и усилению злаков. Так, на контроле (без удобрения) в условиях северной лесостепи виолентность клевера имеет высший ранг (V), а в варианте с удобрениями в эти же годы всего II; ежа сборная в первом случае только на шестой и восьмой год «поднимается» до IV ранга, а в варианте с удобрениями на третий и шестой год – до V ранга (см. **рис. 11.2**).

Кроме того, внесение удобрений меняет характер взаимоотношений между компонентами травосмеси и, соответственно, может выступать в качестве некоего «регулятора» путем создания более благоприятных условий для того или иного компонента травосмеси. В качестве примера, укажу [Горская и др., 1987, с. 148-149; Миркин, 1990, с. 52-53; 1985, с. 39] на изменение роли клевера в условиях северной лесостепи. На третьем году жизни вес одного растения клевера (г) менялся следующим образом:

| | чистый посев | травосмесь |
|-------------------|--------------|------------|
| контроль | 9,1 | 17,6 |
| удобрение | 9,4 | 15,4 |
| полив | 10,9 | 5,8 |
| удобрение + полив | 15,6 | 6,4 |

а одного растения овсяницы – так:

| | чистый посев | травосмесь |
|-------------------|--------------|------------|
| контроль | 2,4 | 3,7 |
| удобрение | 6,1 | 3,6 |
| полив | 2,7 | 8,1 |
| удобрение + полив | 8,3 | 3,9 |

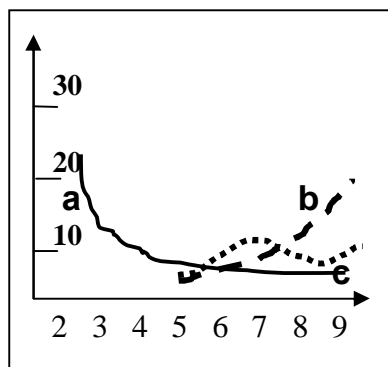
Иными словами, на третьем году жизни в травосмеси клевер подавлял овсяницу во всех вариантах воздействий, кроме «полива» (хотя внесение удобрений положительно сказывалось на увеличении веса особей овсяницы).

4. Степень благоприятности ценологических условий оказывает заметное влияние на развитие растений. В частности, на четвертом году жизни в условиях горно-лесной зоны (возрастание конкуренции в ряду *О – КОКл – КОЛ*) вес одного растения овсяницы (г) и другие статистические характеристики менялись следующим образом [Горская и др., 1987, с. 149-149]:

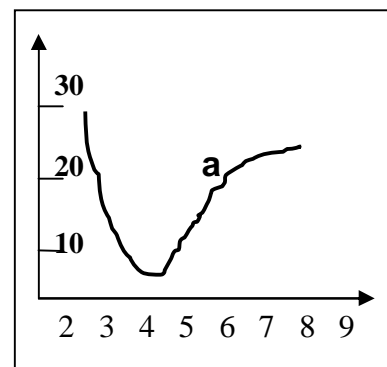
| | <i>O</i> | <i>КОКл</i> | <i>КОЛ</i> |
|------------------------|----------|-------------|------------|
| средний вес | 11,7 | 8,0 | 5,7 |
| дисперсия | 32,38 | 30,80 | 26,76 |
| коэффициент асимметрии | 0 | 0,9 | 1,6 |

Иными словами, конкуренция ведет к уменьшению среднего веса особей и дисперсии, и к увеличению асимметрии распределения (растет число более мелких особей).

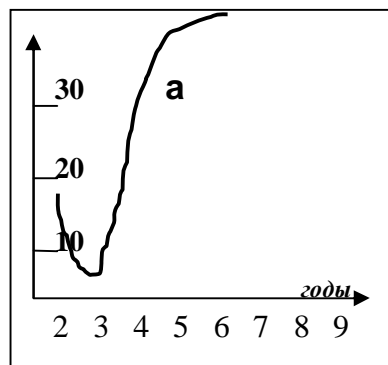
5. В сукцессии внедряющихся видов достаточно четко просматриваются два пика (см. **рис. 11.3**): первый из них наступает на следующий год после высева травосмеси и формируется за счет полевых сорняков (агрофитов), второй наблюдается в стадии распада травосмесей и связан с внедрением



КОЕКл



КлТ



Кл

Рис. 11.3. Динамика долевого участия сорных видов (%) в ходе сукцессии травосмесей.

Обозначения:

а – горно-лесная зона (удобрение),

б – северная лесостепь (контроль),

с – северная лесостепь (удобрение)

апофитных видов местной флоры. Причем, для одновидовых и некоторых вариантов двувидовых посевов высокая засоренность наблюдается на протяжении всего срока использования травосмеси («В Белорецком районе агроном И.М. Нуритдинов... жаловался на низкий урожай и быстрое засорение посевов трав в районе. Повсеместно высевалась травосмесь клевера красного и тимopheевки, которая при отсутствии удобрений засорялась с первого года и так и не очищалась от сорняков два последующих года, была малоурожайна и использовалась не более трех лет» [Миркин, 1990, с. 36]).

6. Виды травосмесей представлены в искусственных сообществах (см. выше пункт 3) не идентичными, а заметно различающимися по весу и размерам особями, создавая тем самым своеобразную «экологическую очередь» (из «своих» более мелких или «чужих» видов) по оптимальному использованию того или иного ресурса.

Вся эта совокупность известных эмпирических фактов позволяет привлечь для объяснения данного явления следующие теоретические конструкции [Миркин, 1990, с. 34-35; Розенберг и др., 1999].

- *Аксиома адаптированности* (адаптивный подход; не улучшать дорогим путем неблагоприятные условия среды для выращивания трав, а подбирать виды трав, которые достаточно продуктивны и устойчивы в этих неблагоприятных условиях).
- *Принцип «плотной упаковки» экологических ниш* (включать в травосмесь виды с разным отношением к факторам среды).
- *Принцип фитоценотической замкнутости* (закрытость травосмеси от внедрения незапланированных компонентов – сорняков и видов местных лугов; фактически, следствие из предыдущего принципа).
- *Принцип различных типов эколого-ценотических стратегий* (подбор видов с разными типами эколого-ценотических стратегий (подбор видов с разным характером корневой системы [максимум корней на разной глубине], разной ритмикой фенологического развития (поочередное зацветание с ранней весны до поздней осени), с разной реакцией на климатические условия и пр.); оценка виолентности популяций; также следствие из принципа «плотной упаковки» экологических ниш).
- *Принцип сукцессионного замещения* (программированная сукцессия; обеспечивать постоянную «продукционную волну», когда виды трав закономерно перераспределяют используемые ресурсы и поочередно достигают максимального развития, что снижает конкуренцию и обеспечивает высокую урожайность травосмеси весь срок ее эксплуатации). В со-

временной литературе очень популярно разделение всех сукцессий по типу их протекания на четыре основные модели [Connell, Slatyer, 1977; Смелянский, 1993]. Эти модели имеют следующую характеристику.

- *Модель стимуляции* – соответствует пониманию сукцессии **Ф. Клементса**, когда в ходе сукцессии смена видов связана с постепенным улучшением условий среды (например, зарастание скал, когда сменяются лишайники, мхи, травы, кустарники, деревья).
- *Модель ингибирования* – соответствует обратному процессу ухудшения условий среды, сукцессия самозамедляется и может остановиться до достижения устойчивого состояния климакса. Дальнейшее развитие сукцессии возможно только при нарушениях, как вариант биотической сукцессии (олени копытами нарушают сплошной ковер мхов, развивающихся на пожарищах, и дают возможность поселиться травам).
- *Модель толерантности* – в ходе сукцессии происходит ухудшение условий среды (в первую очередь обостряется конкуренция между растениями), что компенсируется за счет поселения все более и более толерантных видов с выраженным свойством S [Grime, 1979; Грайм, 2005]. Модель проявляется при зацементировании залежей, восстановлении леса (так, поселение ели возможно только под полог ольхи), т. е. при некотором ухудшении условий.
- *Модель нейтральности* – соответствует сукцессии как чисто популяционному процессу смены популяций видов с разными жизненными циклами и разными эколого-фитоценотическими типами стратегий. Чаще эта модель распространяется только на формирование видового состава, а количественные соотношения между видами обуславливаются ослабленным проявлением эффектов благоприятствования, ингибирования или толерантности.



**Клементс
Фредерик**
(Frederic Edward
Clements;
1874-1945) –
американский
ботаник,
эколог.

Применение этих моделей к анализу сукцессий (которые близки к залежным сукцессиям и отличаются только тем, что ускоряются в результате того, что в сообщество сразу вводится банк семян видов луговых фитоценозов) позволяет сделать вывод о том [Миркин, Горская, 1989], что механизмы смены состава и структуры травосмесей не могут быть подведены под одну из этих четырех идеализированных моделей, поскольку состав агроценоза может меняться на разных стадиях под влиянием различных жизненных циклов, когда сукцессия протекает как популяционный

процесс (модель нейтральности), отражать процессы ингибирования (при появлении доминанта с высокой виолентностью, который как бы «останавливает» сукцессию) или толерантности (когда условия для внедрения новых видов ухудшаются вследствие повышения уровня фитоценотической замкнутости и ограничения потребления ресурсов, но каждый новый вид обладает более высокой толерантностью к этому режиму, которая проявляется в способности к более тонкой дифференциации ниш). Таким образом, в данном случае на модель толерантности и «упаковки» ниш внедряющихся видов может накладываться и модель благоприятствования. Такая неоднозначность механизмов смены видов в ходе сукцессии соответствует современным представлениям теории фитоценологии, где подчеркивается, что не только на разных фазах, но и на одной фазе при смене разных видов могут проявляться механизмы различных моделей [Ricett et al., 1987; Миркин, Наумова, 1998].

- *Правило обязательности заполнения экологической ниши* реализуется либо путем существенных различий видов по размерам, либо внедрением в состав травосмеси видов «дикой» флоры с окрестных территорий.

Сукцессию травосмесей можно разделить на несколько стадий – в частности, предлагается различать три стадии [Миркин, Горская, 1989]:

1. *Инициальная стадия* господства эксплерентов (R-стратегов) за счет стимуляции обработкой почвы прорастания семян и вегетативных зачатков в почве (см. **рис. 11.3**). Если созданию травосмеси предшествовало пахотное использование почвы, то обычно это полевые (сегетальные) сорняки, если осваивается целина, то это виды-рудералы. Продолжительность стадии один-два года; при очень высоких нормах высева культурных трав (например, в практике газонного хозяйства) стадия может быть практически не выражена.
2. *Стадия доминирования* культурных компонентов, период продуктивного долголетия травосмеси. Длительность стадии может составлять от одного-двух до десяти и более лет – её продление и является конечной целью оптимизации травосмесей. При многовидовой травосмеси состав доминантов последовательно меняется (наблюдается процесс сменодоминантности или «продукционной волны»). «В удачно "смонтированной" травосмеси в ходе "продукционной волны" происходит постепенная замена одних полезных видов другими, чтобы все виды "работали" и не выпадали из травосмеси раньше времени, которое им отведено в программированной сукцессии (в этом случае напрасно тратятся дорогостоящие семена), следует добиваться предельно дифференциации особей по размеру. Это придает "продукционной волне" устойчивость и позволяет особям более плотно использовать среду: рядом с крупным растением, требующим много ресур-

сов, их "остатки" может использовать более мелкая особь того или иного вида, но в любом случае место в сообществе будет занято и потому ограничены возможности для проникновения в травосмесь внедряющихся сорных видов» [Миркин, 1990, с. 56-57].

3. *Стадия внедрения* спонтанных видов, как правило, из числа рудеральных, а затем луговых и степных. При этом очень часто, травостой сохраняется продуктивным за счет спонтанно внедрившихся, но хорошо отзывающихся на удобрения видов. Обогащение состава травостоя постепенно приближает его к естественным или полустественным травостоям, что ведет к конвергенции ботанического состава и структуры различных травосмесей, выращенных в одних и тех же почвенно-климатических условиях.

Формализовать эти теоретические представления можно с помощью следующей модели.

Задача о плотной упаковке – это один из разделов дискретной геометрии; эта задача, фактически, сводится к ответу на вопрос: насколько плотно можно уложить в пространстве большое количество одинаковых шаров [Фейеш Тот, 1958; Делоне, Рышков, 1963; Роджерс, 1968; Слоэн, 1984 и др.]. В частности, согласно *принципу плотной упаковки молекул*, сформулированному **А.И. Китайгородским**, молекулы, моделируемые внешним контуром пересекающихся ван-дер-ваальсовых сфер атомов, в кристаллах «соприкасаются», т. е. не проникают друг в друга и не висят в пустоте. При этом они располагаются достаточно плотно (выступ к впадине); плотность упаковки в трехмерном пространстве близка к 0,7.



Китайгородский Александр Исаакович (1914-1985) – отечественный физик-кристаллограф.



Мак-Артур Роберт (Robert Helmer MacArthur; 1930-1972) – американский математик, эколог, генетик, биогеограф.

Минковский Герман (Hermann Minkowski; 1864-1909) – немецкий математик, геометр, физик.



Конфигурации плотной упаковки шаров изучаются уже многие годы, но об оценке плотности такой упаковки все еще можно говорить лишь в «приближении сверху» (на это, кстати, еще в 1972 г. указывал **Р. Мак-Артур**

[MacArthur, 1972], который первым пытался использовать в экологии принцип плотной упаковки для моделирования структуры сообщества). **Г. Минковский** в 1905 г. доказал (см.: [Роджерс, 1968, с. 11]), что плотность упаковки δ_n для n -мерного пространства имеет такую оценку:

$$\delta_n \geq \left(\sum_{k=1}^{\infty} k^{-n} \right) / 2^{n-1} ;$$

а для $n > 25$ (а именно такие варианты и интересны при экологической интерпретации), нашими отечественными математиками [Сидельников, 1974; Кабатянский, Левенштейн, 1978; см. также: Слоэн, 1984] была получена следующая оценка:

$$\delta_n \leq 2^{-0,599n} .$$

Если плотность упаковки в n -мерном пространстве δ_n нормировать суммой $\sum_{n=1}^{\infty} \delta_n$, то, фактически, получим вероятность того, что в n -мерном пространстве будет достигнута плотная упаковка.

Прежде чем перейти к обсуждению конкретной экосистемы (устойчивой травсмеси), рассмотрим некоторые общие принципы построения потенциально эффективной модели экосистемы (см.: [Флейшман, 1982]). Пусть имеется n -мерное пространство экологических факторов, и каждый вид занимает в нем свою экологическую нишу, которая описывается многомерной сферой (можно принять наличие только одного вида, особи которого занимают одинаковые ниши-сферы, различающиеся только пространственным расположением). В момент времени t каждая ниша-сфера с вероятностью p_t будет занята особью s вида (p_t в этом случае может рассматриваться как вероятность плотной упаковки). Тогда, $p_t(s, n)$ – вероятность встретить вид в момент времени t в n -мерной нише, а $p_t(0, n)$ – вероятность того, что ниша будет пуста; $p_t(s, n) + p_t(0, n) = 1$. Кроме этих вероятностей, введем в рассмотрение условную вероятность $p_t(ss, n) = p_t(s, n) / [1 - p_t(0, n)]$ – вероятность того, что в нише появится еще одна особь s при условии, что ниша уже занята (формализуется процесс конкуренции – в данном контексте, внутривидовой). Каждый шаг моделирования ($t + 1$) состоит в том, что особи s с вероятностями $p_t(s, n)$ для «чистой» ниши и $p_t(ss, n)$ для уже занятой ниши занимают соответствующее пространство, стремясь «плотно упаковаться» в нем. Сообщество считается устойчиво функционирующим, если через T_0 шагов плотность упаковки вида в пространстве экологических ниш-сфер будет отличаться от теоретически возможной на некоторую заданную величину ε .

Функционирование травосмеси (система A) можно представить как процесс ежегодного «обмена» плотности упаковки видов в экологической нише (будем говорить о «потребляемом ресурсе» U ; еще раз напомним, что этот принцип – лишь модель, помогающая интерпретировать реальность) на устойчивость травосмеси («расходуемый ресурс» V). Тогда целью A_0 системы A можно определить «наиболее выгодный ($U;V$)-обмен» (система стремится высокопродуктивно просуществовать достаточно долго, увеличивая [или сохраняя] степень плотности упаковки видов в травосмеси). Представляя ($U;V$)-обмен как некоторый случайный марковский процесс (для каждого фиксированного U система путем изменения своей структуры и поведения стремится максимизировать V), зададим вероятность $P(U,V)$ достижения системой A своей цели A_0 ; тогда в соответствии с формулой **Байеса**:

$$P(U,V) = P(U) \cdot P(V/U) = P(V) \cdot P(U/V) .$$

Вероятность добиться плотной упаковки видов, в свете выше приведенных рассуждений, будет

$$P(U) = \delta_n / \sum_n \delta_n .$$

По имеющимся данным [Роджерс, 1968, с. 11] легко рассчитать такое распределение вероятности (см. **рис. 11.4**).

Определим вероятность того, что система A будет устойчивой (просуществует $t > T_0$ единиц времени) при условии плотности упаковки δ_n [$P(V/U)$]. Возможны два варианта развития событий.



Байес Томас
(Reverend
Thomas
Bayes;
1702-1761) –
британский
математик,
священник.

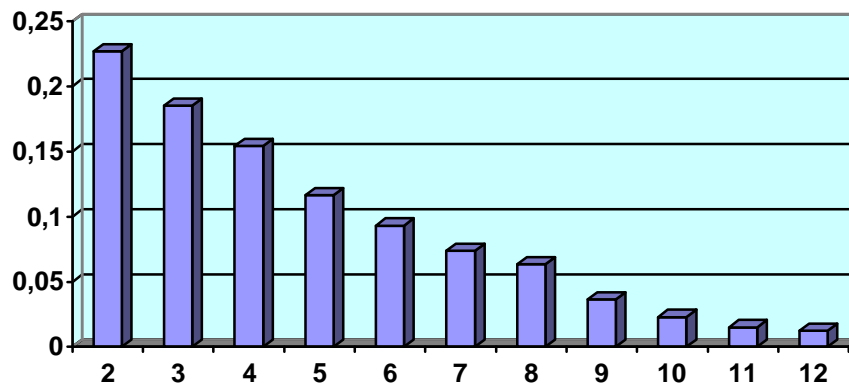


Рис. 11.4. Вероятность плотной упаковки сфер в зависимости от размерности пространства

Пусть, в первом случае, каждый последующий шаг в сукцессии экосистемы не зависит от предыдущего; тогда вероятность достигнуть устойчивого состояния через T_0 шагов будет:

$$p_{уст}(s, n) = \prod_{i=1}^{T_0} p_i(s, n),$$

причем, для заданного n ,

$$|P(V/U) - p_{уст}(s, n)| < \varepsilon.$$

В случае, когда все p_i равны между собой,

$$p_{уст}(s, n) = p_i^{T_0}(s, n).$$

Естественная гипотеза о зависимости последующего состояния экосистемы от предшествующего (предшествующих) приводит, во втором варианте, как уже указывалось, к модели, описываемой *однородной цепью Маркова* (см., например, [Кемени, Снелл, 1970]):

$$p_{t+1}(s, n) = \{p_t(s, n) \text{ или } p_t(ss, n)\} \cdot P_t,$$



Марков Андрей Андреевич (1856-1922) – отечественный математик; академик Императорской Санкт-Петербургской и Российской академии наук.

где P_t – стохастическая однородная ($N \times N$)-матрица, где N – число ниш-сфер, с неотрицательными вероятностями перехода каждой ниши-сферы в состояние «заполненности» особью (или видом) s ; однородность матрицы соответствует тому, что $p_{ij}(\dots) = p_{ji}(\dots)$. Тогда,

$$p_{уст}(s, n) = \lim_{t \rightarrow \infty} p_t(s, n).$$

Фактически, этот предел существует, если существует предел для матрицы переходов

$$P_{lim} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_t,$$

который соответствует стационарному процессу плотной упаковки особей (видов). Из свойств условной вероятности и определения однородной цепи Маркова, получаем, что матрица переходных вероятностей за n шагов однородной цепи Маркова есть n -я степень матрицы переходных вероятностей за 1 шаг.

Объединяя эти результаты, получаем вероятность $P(U, V)$ достижения системой A своей цели A_0 :

$$P(U, V) = (\delta_n / \sum_n \delta_n) \cdot \begin{cases} p_t^{T_0}(s, n) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} (P_t) = P_t^{T_0} \end{cases}.$$

Используя приведенную выше информацию по результатам экспериментов на основе принципа программированной сукцессии [Миркин, 1985] в условиях северной лесостепи Башкирского Предуралья и в горно-лесной и степной зонах Зауралья, продемонстрируем работоспособность предложенной модели. Напомню, высевались несколько видов трав в чистых посевах (*Bromopsis inermis* [K], *Festuca pratensis* [O], *Trifolium pratense* [Кл], *Medicago sativa* [Л], *Dactylis glomerata* [E]), а также смесь этих видов при четырех вариантах экологических воздействий (контроль, полив, удобрение [N₆₀P₆₀K₆₀] и полив + удобрение; [Горская и др., 1987]).

Пусть $t = 3$, $T_0 = 10$, $n = 2$ (будем рассматривать различия ниш для вариантов «контроль» и «удобрение», а по остальным осям будем считать их идентичными; см. рис. 11.1). Тогда

$$P(U) = \delta_n / \sum_n \delta_n = 0,2267.$$

Учитывая экспериментальный характер смены видов в травосмесях в вариантах «контроль» и «удобрения» (рис. 11.1 и 11.2) и некоторые экспертные оценки, матрицы переходов P_t представлены в следующем виде (например, первая строка матрицы «контроль» интерпретируется следующим образом: костреч вытесняет овсяницу, люцерну и клевер с вероятностью 0,25 для каждого вида, и почти не может вытеснить ежу сборную – вероятность всего 0,05):

| | «контроль» | | | | | | «удобрение» | | | | | |
|---------|------------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|
| | K | E | O | Л | Кл | | K | E | O | Л | Кл | |
| $P_t =$ | K | 0,20 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | K | 0,80 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0 |
| | E | 0,05 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | E | 0,1 | 0,70 | 0,1 | 0,1 | 0 |
| | O | 0,25 | 0,20 | 0,40 | 0,10 | 0,05 | O | 0 | 0,1 | 0,40 | 0,25 | 0,25 |
| | Л | 0,25 | 0,20 | 0,10 | 0,30 | 0,15 | Л | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,30 | 0,25 |
| | Кл | 0,25 | 0,30 | 0,05 | 0,15 | 0,25 | Кл | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0,50 |

Соответственно, получаем предел P_t при $t \rightarrow \infty$:

| «контроль» | | | | | | «удобрение» | | | | | | | |
|---------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|---------------|-----------|----------|----------|-----------|------|------|
| | <i>K</i> | <i>E</i> | <i>O</i> | <i>Л</i> | <i>Кл</i> | | <i>K</i> | <i>E</i> | <i>O</i> | <i>Л</i> | <i>Кл</i> | | |
| $\lim(P_t) =$ | <i>K</i> | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | $\lim(P_t) =$ | <i>K</i> | 0,27 | 0,20 | 0,13 | 0,16 | 0,12 |
| | <i>E</i> | 0,16 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,23 | | <i>E</i> | 0,20 | 0,24 | 0,20 | 0,20 | 0,15 |
| | <i>O</i> | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | | <i>O</i> | 0,13 | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,23 |
| | <i>Л</i> | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | | <i>Л</i> | 0,16 | 0,20 | 0,21 | 0,20 | 0,22 |
| | <i>Кл</i> | 0,23 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,19 | | <i>Кл</i> | 0,12 | 0,15 | 0,23 | 0,22 | 0,21 |

Даже поверхностный анализ этих, в значительной степени «искусственных» (как любая экспертная оценка), матриц, позволяет говорить о том, что «со временем» происходит выравнивание распределений вероятностей занять пустующую нишу-сферу или вытеснить из нее другой вид. Интерпретируются и чуть заметные тенденции более «сильного давления» костреца и ежи на бобовые в «контроле» и ослабление такого «давления» в варианте «удобрения» (как известно, злаки и бобовые находятся в симбиотических отношениях – злаки способны образовывать кольца вокруг пятен бобовых, т. к. у границ с такими пятнами складываются условия улучшенного азотного питания [Работнов, 1973; Harper, 1977; Turkington, Harper, 1979]; в условиях внесения удобрений конкуренция за азот ослабевает).

Закончить этот раздел хочу такой полуфилософской сентенцией. Польза теоретической науки, даже если она не достигает своего совершенства, все равно, как правило, оказывается весьма ощутимой, что побуждает дальнейшее её развитие, а недостатки используемых научных методов восполняются за счёт искусства тех, кто занимается практической деятельностью. Дальнейшее познание наблюдаемых систем и процессов (следующий виток «диалектического штопора») выводит науку на следующий и, как правило, более высокий уровень теоретического обобщения (http://revolution.allbest.ru/philosophy/00014135_0.html).

2. Предсказание новых явлений

К. Поппер [1983, с. 53] в 1934 г. писал: «Можно, как представляется, выделить четыре различных пути, по которым происходит проверка теории.

- Во-первых, это логическое сравнение полученных следствий друг с другом, при помощи которого проверяется внутренняя непротиворечивость системы.
- Во-вторых, это исследование логической формы теории с целью определить, имеет ли она характер эмпирической, или научной теории или, например, является тавтологичной.

- В-третьих, это сравнение данной теории с другими теориями, в основном с целью определить, внесет ли новая теория вклад в научный прогресс в том случае, если она выживет после её различных проверок.
- И, наконец, в-четвертых, это проверка теории при помощи эмпирического применения выводимых из нее следствий».

В рамках этих представлений (особенно – четвертого типа проверки), из проверяемой теории выводят некоторые высказывания, которые можно назвать *предсказаниями* и которые проверяются путем сравнения с результатами экспериментов. Если проверка дает положительный результат, то теория на данный момент может считаться верифицированной, но если результат отрицательный (т. е. следствия теории [предсказания] оказались фальсифицированными), «то фальсификация их фальсифицирует и саму теорию, из которой они были логически выведены» (см.: [Поппер, 1983, с. 53-54]). «Ценность научной теории заключается в её способности предсказывать» [Бриллюэн, 1972, с. 15].

Таким образом, *предсказание* (предвидение новых ситуаций, событий и явлений) – весьма важная функция научного познания и основанной на нем практики. Обычно, предсказание выглядит дедуктивным умозаключением, посылками которого служат некоторые эмпирические обобщения, законы или теории, а также допущения, характеризующие условия применения общих положений к частным случаям; результатом такого умозаключения оказывается нечто до него неизвестное.

Научное предсказание может быть двоякого рода: *касаться свойств существующих объектов*, но еще не обнаруженных наблюдением (например, месторождений полезных ископаемых, новых химических элементов, звезд и т. п.), или *описывать явления и события, которые возможны в будущем* при определенных

условиях (например, **К.Э. Циолковским** была предсказана возможность космических полетов с помощью ракетных поездов [современных многоступенчатых ракет], физиками – управляемой ядерной реакции, химиками – получения синтетических материалов, биологами – клонирования организмов и т. п. [Будко, 2005, с. 94-95]). Независимо от рода предсказаний они всегда основываются на распространении познанных законов или тенденций природы и общества на область неизвестных или не возникших еще явлений, где эти законы или тенденции должны, по мнению естествоиспытателя, сохраняться. При этом следует помнить, что для сложных систем (элементы которых не-



**Циолковский
Константин
Эдуардович**
(1857-1935) –
отечественный
ученый-самоучка,
основатель
космонавтики,
философ,
писатель-фантаст.

линейно взаимосвязаны и находятся под нелинейным и стохастическим влиянием многочисленных внешних факторов), как правило, предсказания результатов воздействий на них сбываются не полностью, объяснением чему, чаще всего, служит ссылка на «неучтенные факторы» (самый простой пример, – некоторые результаты наших экономических реформ...).

Например, учет закономерностей сукцессии в травосмесях позволяет сделать некоторые прогнозы. Тот факт, что в рассмотренных опытах «выпадали» бобовые, совсем не означает невозможности поддерживать их достаточно высокое представительство в травосмесях – следует подбирать более устойчивые виды (подобные чине луговой [*Lathyrus pratensis*] и горошку мышиному [*Vicia cracca*]), «помогать» бобовым внесением фосфорно-калийных удобрений (или, по крайней мере, не «мешать» им внесением азотных удобрений), учитывать онтогенетическую цикличность в развитии бобовых (так называемые, «клеверные годы»; см. **рис. 11.1**, контроль, 9-10-й годы – «вспышка» клевера лугового).

Экспериментальный и теоретический анализ сукцессии в травосмесях позволяет предположить, что для долговременно существующей (достаточно устойчивой) травосмеси процесс внедрения «чуждых» видов (после первых 2-3 лет жизни) будет сравнительно стабильным; при этом, среди внедряющихся видов возрастает роль выходцев из местной флоры, что определяет «стрелу сукцессии» в направлении естественного кормового угодья.

Еще одно предсказание выглядит следующим образом. Внутрипопуляционное разнообразие повышает интенсивность использования ресурса и может стать поводом для микроэволюционных процессов. Особенно, гетерогенность популяций выражена в сообществах с ослабленной конкуренцией. С другой стороны, повышение устойчивости травосмесей следует ожидать в направлении подбора видов-пациентов (в рамках принципа различных типов эколого-ценотических стратегий) – засухоустойчивых, устойчивых к повышенному содержанию в почве солей, способных расти на кислых, холодных почвах и т.д. [Миркин, 1985, с. 41]. В этом контексте особые надежды возлагаются на генно-инженерные методы выведения новых культурных сортов многолетних трав. Правда, и здесь следует соблюдать осторожность. Так, по сообщению в журнале "New Scientist" [«Сбежавшая» трава., 2007], в США трансгенная трава-полевица [*Agrostis stolonifera*] со встроенным геном бактерии, делающей её устойчивой к гербициду раундап¹⁰, предназначенная для

¹⁰ Глифосат (Glyphosate; *N*-(фосфонометил)-глицин, $C_3H_8NO_5P$) – неселективный системный гербицид, использующийся для борьбы с сорняками, особенно многолетними; самый распространённый гербицид в мире. Торговое название Roundup (англ. *круговая оборона*), в честь круга из фургонов, из-за которого американские переселенцы отстреливались от индейцев. Считается одним из самых безопасных в мире гербицидов (при правильном применении).

использования на полях для игры в гольф и ещё проходящая испытания, была обнаружена на лугах штата Орегон. Трава-полевица – это многолетнее растение, имеющие большое количество «диких родственников» на территории США, поэтому ген устойчивости к раундапу может распространиться очень широко, последствия его влияния непредсказуемы, что вызывает серьезное беспокойство у специалистов.

3. Общая интерпретация основного содержания теории

Интерпретация (лат. *interpretatio* – *истолкование, объяснение, разъяснение*; в математике, логике, теории познания) – совокупность значений (смыслов), придаваемых тем или иным способом элементам (выражениям, формулам, символам и т. д.) какой-либо естественнонаучной или абстрактно-дедуктивной теории (в тех же случаях, когда такому «осмыслению» подвергаются сами элементы этой теории, то говорят также об интерпретации символов, формул и т. д.). Такое определение дано в "Большой Советской энциклопедии" [1972, т. 10, с. 334]. *Содержательная интерпретация* (в информатике) – конкретизация восприятия данных той или иной формы представления в рамках определенного вида деятельности (например, текст документа на английском языке понятен и может быть использован специалистом, знающим английский язык, но не имеет практического смысла для человека, не владеющего этим языком, или одни и те же звуковые сигналы, подаваемые с помощью горна в различных армиях мира, воспринимаются по-разному).

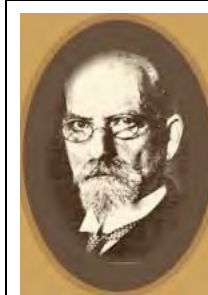
Понятие «интерпретации» имеет важное гносеологическое значение: оно играет существенную роль при сопоставлении научных теорий с описываемыми ими областями, при описании разных способов построения теории и при характеристике изменения соотношения между ними в ходе развития познания. Поскольку каждая естественнонаучная теория задумана и построена для описания некоторой области реальной действительности, эта действительность служит её (теории) «естественной» интерпретацией. Но не всегда такого рода интерпретации оказываются единственно возможными (классический пример: из факта изоморфизма механических и электрических колебательных систем, описываемых одними и теми же дифференциальными уравнениями, сразу же следует, что для таких уравнений возможны, по меньшей мере, две различные интерпретации). Для абстрактно-дедуктивных теорий вообще говорить об интерпретации затруднительно.

Проблему нашего знания о мире К. Поппер [1983, с. 35] называл космологической проблемой: «Философы-аналитики полагают, что или вообще не существует подлинных философских проблем, или что философские про-

блемы, если таковые все же есть, являются всего лишь проблемами лингвистического употребления или значения слов. Я же, однако, считаю, что имеется, по крайней мере, одна действительно философская проблема, которой интересуется любой мыслящий человек. Это проблема космологии — проблема познания мира и нас самих (и наше знание) как часть этого мира». *Интерпретация – это процесс, цель и адекватный результат которого, – понимание.*

В процессе интерпретации существуют свои категории или, как их называл Э. Бетти [Betti, 1955; Реале, Антисери, 1997, с. 434], «каноны». Два из этих канонов относятся к объекту интерпретации:

- канон *автономии объекта* предполагает, что в развитии интерпретируемого объекта присутствует некоторое активное начало, которое и следует искать интерпретатору; смысл совершенного открытия содержится в самом объекте, а не привносится извне; по отношению к дедуктивно построенной теоретической экологии этот канон свидетельствует о её самодостаточности;



**Бетти
Эмилио**
(Emilio Betti;
1890-1968) –
итальянский
юрист,
философ.

- канон *тотальности интерпретации* позволяет «увязать» между собой взаимоотношения различных частей экологической теории и определить её отношение к «науке в целом»; в контексте герменевтики¹¹, которую развивал Бетти, можно утверждать, что этот канон «говорит нам о том, что части текста могут быть поняты в свете целого, а текст может быть понят лишь в континууме с его частями, в уточнении деталей» [Реале, Антисери, 1997, с. 435].

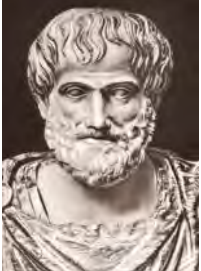

Еще два канона Бетти относятся к субъекту интерпретации:

- канон *актуальности понимания*, фактически, ставит границу возможностям интерпретации, связанную именно с субъективным характером этого процесса («интерпретатор не может снять свою субъективность до конца. Напротив, интерпретатор идет к пониманию объекта, отталкиваясь от собственного опыта...» [Реале, Антисери, 1997, с. 435]);

¹¹ Герменевтика (др.-греч. *ἑρμηνευτική* – искусство толкования) – направление в философии XX в., выросшее на основе теории интерпретации литературных текстов. С точки зрения герменевтики задача философии заключается в истолковании предельных значений культуры, поскольку реальность мы видим сквозь призму культуры, которая представляет собой совокупность основополагающих текстов.

- канон *адекватности понимания* выполняет, фактически, те же функции, что и оценка адекватности моделирования – см. главу 6, раздел 1 (Э. Бетти [Betti, 1955; цит. по: Реале, Антисери, 1997, с. 435] писал: «Желать понять – этого мало, необходим "духовный просвет", подходящая перспектива для открытия и понимания. Речь идет об определенной предрасположенности (моральной и теоретической) души..., что проявляется в искреннем и решительном преодолении собственных предрассудков. Позитивно она [*адекватность понимания*. – Г.Р.] может быть определена как богатство интересов и широта горизонта интерпретатора»).

Последний элемент структуры теории [И. Кузнецов, 1967] дает собственно философское истолкование основных понятий и законов теории, её исходных идей и достигнутых результатов, служит для осмысления границ применимости теории. Такого рода философское учение (как система знаний) обычно формируется как *наука о науке* в том смысле, что в рамках вводимых общих категорий (например, в метафизике **Аристотеля** – сущность, материя, форма, движение, количество, противоречие и пр.; в философии **Канта** – множество, реальность, отрицание, ограничение, субстанция, причина и действие, необходимость и случайность и т. д.) сосредотачивается внимание

| | | | |
|--|--|---|--|
|  | <p>Аристотель из Стагиры (Ἀριστοτέλης; 384-322 г. до н.э.) – древнегреческий философ, ученый-энциклопедист.</p> | <p>Кант Иммануил [Эммануил] (Immanuel Kant; 1724-1804) – немецкий философ; почетный академик Императорской академии наук и художеств в Санкт-Петербурге.</p> |  |
|--|--|---|--|

на выявлении закономерностей возникновения и развития объектов познания из разнообразных предметных областей и на разработке в рамках методологического познания *философских принципов*, выражающих методические и методологические подходы к решению самых разнообразных научных и практических задач. Таким образом, на философском уровне познаются свойства и отношения объектов, инвариантные относительно того или иного множества предметных областей, а также закономерности возникновения, применения и развития методологий и их составных элементов. В этом смысле, интерпретация конкретной теории – это «взгляд» на нее, оценка непротиворечивости с точки зрения «вышестоящей», «более объемлющей» теории (например, как интерпретация теории алгоритмов через теорию ЭВМ и программирования [Криницкий, 1972]).

Однако на этом пути следует соблюдать осторожность; об этом, например, предупреждал даже физик (далеко не последний) **В. Гейзенберг** [1989, с. 126], который подчеркивал, что новые открытия в физике «серьезно предостерегали против вынужденного применения физических понятий в об-



Гейзенберг Вернер
(Werner Karl Heisenberg; 1901-1976) – немецкий физик, лауреат Нобелевской премии (1932 г.).

ластях, к которым они не принадлежат. Некритическое применение понятий классической физики в химии, например, было ошибкой. Поэтому в настоящее время вряд ли склонны считать, что понятия всей физики, а также квантовой теории могут быть успешно применены в биологии или в других науках. Напротив, пытаются открыть двери для новых понятий, даже в тех науках, где старые понятия весьма полезны для понимания явлений. В особенности стараются избегать поспешных упрощений в тех случаях, когда применение старых понятий представляется несколько вынужденным или не совсем подходящим».

Все что сказано было здесь о гносеологии (эпистемологии), напрямую связано с *конструктивной системологией*, которая рассматривалась в главе 1. Именно она является той «надстройкой», через которую происходит «за-



Кун Томас
(Thomas Samuel Kuhn; 1922-1996) – американский историк науки, философ.



Лакатос [Лакатош] Имре
(Imre Lakatos [наст. фамилия Lipsitz]; 1922-1974) – венгерский, британский историк науки, философ.

мыкание» структуры экологической теории – предсказанные явления изучаются и поставляют новую эмпирическую информацию, которая обрабатывается с позиций теории и включается в её эмпирический базис, создавая расширенный эмпирический базис («основание» более совершенной или даже новой теории). Фактически, эта схема иллюстрирует, ставшие уже классическими, смену научных парадигм **Т. Куна** [Kuhn, 1962] и прогрессирующие исследовательские программы **И. Лакатоса** [1995].

Очень хороший пример интерпретации основного содержания экологической теории предложил **В.В. Артюхов** [2009], который в рамках общей теории систем **Ю.А. Урманцева** (ОТС[У]; [1988, 2009]) рассмотрел ряд механизмов взаимодействия элементов в рамках экосистемы. В отличие от других подобных системных конструкций, ОТС(У) не использует принимаемых на веру аксиоматических предпосылок или некоего свода сомнительных базовых утверждений (например, «энергия не появляется и не исчезает»). Её основные положения выводятся формально-логическим путем из нескольких очевидных фундаментальных понятий, таких, как: «существует множество объектов, между которыми возможны отношения единства».

Главным достоинством ОТС(У) является предельная всеобщность, способность описать любой объект материальной или идеальной действительности. Однако это является и главным ограничением для применения её на практике – как правило, предельная всеобщность рассмотрения объектов приводит к столь же общим результатам (фактически, реализуется системологический



Артюхов Владимир Викторович
(г.р. ?) – отечественный программист, системолог.



Урманцев Юнир Абдуллоевич
(г.р. 1931) – отечественный физиолог растений, системолог, философ.



Заде Лотфи Али Аскер
(Lotfi Ali Asker Zadeh; г.р. 1921) – американский математик.

принцип несовместимости Заде; см. раздел 5, глава 1). Это хорошо для интерпретации, а для их доведения до нужд конкретной прикладной области необходим своеобразный теоретический «мостик» в виде внутридисциплинарных методов и моделей, оперирующих конкретными объектами биологии, термодинамики, теории информации и др.

Взяв за основу критерий самоорганизации системы $dA/dt > 0$, смысл которого состоит в росте полезной работы с увеличением вещественно-энергетического потенциала системы (в нелинейной термодинамике есть аналог этому утверждению – это пригожинской *принцип уменьшения энтропии*, допускающий, что в отдельных случаях энтропия может уменьшаться вопреки второму началу термодинамики), Артюхов [2009, с. 76-85] в ходе качественного анализа этой стратегии самоорганизации вывел ряд уравнений, описывающих, в частности, возможные механизмы, с помощью которых метаболические системы могут «вывести из оборота» избыток «мертвой органики». При этом в качестве следствий критерия самоорганизации возникают (еще раз подчеркну, – не вводятся) такие составляющие экосистемы как продуцен-

ты, консументы, редуценты (деструкторы) и получают формальным путем базовые соотношения общей экологии. Иными словами, «Природа "сама по себе" реализовала все теоретически возможные стратегии развития. А значит, похоже, что мир развивается отнюдь не в "энтропийном" направлении...» [Артюхов, 2009, с. 84], что и следует принять за одну из возможных интерпретаций основного содержания экологической теории.

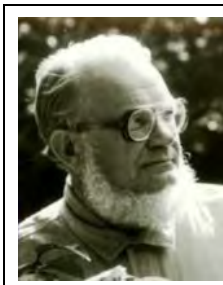
Занимаясь построением теоретической экологии, нельзя забывать и о современной многозначности самого термина «экология»: так, **Н.Ф. Реймерс** [1990, с. 592-593] дает 5 основных определений «экологии» и приводит 26 определений, которые, так или иначе, касаются «смежных прикладных и полуприкладных отраслей знания» [Реймерс, 1990, с. 594].



**Реймерс
Николай
Федорович**
(1933-1993) –
отечественный
зоолог,
эколог.

На конец XX в. в моей «коллекции» было более 60 определений «экологии» [Розенберг, 1999а], а через 10 лет – почти 100 [Розенберг, 2010б], среди которых попадались и весьма экзотические (например, такие «новые направления» экологической науки, как «экологическое пчеловождение», «экологическое асбестование» или

такой «перл»: экология – это «понятие-символ эпохального значения, болезненный нерв современной мировой цивилизации и культуры, её новый животрепещущий философско-мировоззренческий ориентир»; см.: [Розенберг, Рянский, 2004, с. 6-7]). Не удержусь, и приведу очень точное высказывание **О.Г. Кусакина** [1999, с. 6]: «Осознание (хотя и весьма запоздалое), что человек своей бесхозяйственной деятельностью поставил не только себя, но и все живое под угрозу экологической катастрофы, вызвало повышенный интерес к природоохранным проблемам самых различных слоев человеческого общества и появление целого ряда обусловленных как научной необходимостью или практикой, так и просто любовью поразмышлять наук и научных (или не вполне научных) дисциплин, терминов и понятий, таких как глобальная



**Кусакин
Олег
Григорьевич**
(1930-2001) –
отечественный
гидробиолог,
зоолог;
академик РАН.

экология, экология человека, социальная экология, архитектурная экология, инженерная экология и даже экология духа и экология секса (не путать с вполне правомерным разделом "экология размножения"). При этом экология и её предмет расширились настолько, что она далеко вышла за свойственные ей биологические границы... Об экологии

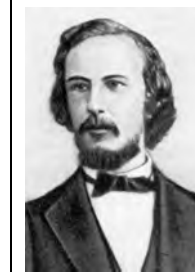
заговорили почти все – мэрам городов стали присваивать звания лучшего

эколога страны, известные артисты сетовали, что у них в городе экология плохая (хотя при отключении электроэнергии, например, не говорят, что это делается из-за плохой физики в городе)».

Вывод. В этом контексте, – «экология наука обо всём» – место экологии среди других наук выглядит весьма расплывчатым, и осуществить содержательную интерпретацию её теории не представляется возможным.

Если исходить из классического определения «экологии» по **Э. Геккелю** («Экология – наука о взаимоотношениях организмов между собой, точно так же как хорология – наука о географическом и топографическом распространении организмов... это физиология взаимоотношения организмов со средой и друг с другом... Под экологией мы понимаем общую науку об отношениях организмов с окружающей средой, куда мы относим в широком смысле все "условия существования". Они частично органической, частично неорганической природы; но как те, так и другие... имеют весьма большое значение для форм организмов, так как они принуждают их приспосабливаться к себе» [Haeckel, 1866, S. 236, 286; Геккель, 2004, с. 9]), то тогда экология – *это наука биологического профиля*. И с этой точки зрения содержательная интерпретация её теории (понимание сущности теоретических построений) сводится к биологической конкретизации построенных формализмов (самый простой пример – любая модель-теория динамики численности популяции не должна давать отрицательных значений; кстати, именно в этой «точке», как и при постановке задачи, должно происходить самое плотное взаимодействие «модельера-теоретика» и «специалиста-практика»). По ходу изложения возможного варианта теоретической экологии (главы 9-11) я старался давать такого рода содержательную интерпретацию. Как это у меня получилось – судить читателю.

Наконец, напомним слова **Г.С. Альтшуллера** [1960]: «Всякая теория смертна. Поэтому в период зрелости теории надо концентрировать усилия не только (а в период старости теории и не столько) на приложении её к объяснению новых групп явлений, но и на изучении слабых мест. Проще говоря: *надо развивать теорию не там, где она сильна, а там, где ощущается её слабость*».



Геккель Эрнст
(Ernst Heinrich Haeckel; 1834-1919) – немецкий зоолог, антрополог, эколог.



Альтшуллер Генрих Саулович
(псевдоним – Генрих Альтов; 1926-1998) – отечественный изобретатель, писатель-фантаст.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенную вещь можно всегда изучать, иными словами в совершенной вещи есть всегда что-либо неизученное. Если бы оказалась вещь, изученная до конца, то она перестала бы быть совершенной, ибо совершенно то, что конца не имеет, т. е. бесконечно.

Даниил Хармс,
«О круге», 10 июля <1931>,
<http://cpsy.ru/cit1143.htm>

Заключение пишется для того, чтобы как-то оправдать проделанную работу, объяснить то, что удалось и то, что не удалось мне как автору, наконец, ответить на вопрос, который вполне мог возникнуть у читателя: почему, собственно говоря, – Даниил Хармс?



Хармс Даниил
(наст. имя Даниил
Иванович Ювачёв;
1905-1942) –
отечественный
писатель, поэт.

Хармс – псевдоним Даниила Ивановича Ювачёва (сына народовольца, который был приговорен к смертной казни, вместо этого отбывал ссылку на Дальнем Востоке, где и «ушел» из революции в религию). Первоначально стал известен как детский поэт («кстати, строгого деления на "детскую" и "взрослую" поэзию у Хармса нет: едва ли не все, написанное им для детей, имеет вполне "взрослую" ценность» [Строфы века, 1994, с. 438]). Хармс был одним из основателей литературной группы ОБЭРИУ (Объединение Реального Искусства, 1928-1931 гг.), члены которой декларировали отказ от традиционных форм искусства, необходимость обновления методов изображения действительности, культивировали приемы алогизма, абсурда (фактически, предвосхитили европейскую литературу абсурда), гротеска. Хармс 31 октября 1937 г. записал в дневнике свое эстетическое кредо: «**Меня интересует только "чушь"**,

только то, что не имеет никакого практического смысла. Меня интересует только жизнь в своем нелепом проявлении. Геройство, пафос, удадь, мораль, гигиеничность, нравственность, умиление и азарт – ненавистные для меня слова. Но я вполне понимаю и ува-

жаю: восторг и восхищение, вдохновение и отчаяние, страсть и сдержанность, распутство и целомудрие, печаль и горе, радость и смех». Наконец, кроме всего прочего, произведения Хармса не только философичны, но и причудливы и юмористичны.

23 августа 1941 г. Хармс был во второй раз арестован и, если верить справке, 2 февраля 1942 г. скончался в тюремной больнице; в 1956 г. он был реабилитирован, и его тексты начали постепенно возвращаться к читателям.

И еще раз: почему – Хармс? Прежде всего, – это моя читательская любовь к Хармсу. Во-вторых, это обусловлено «пристальным вниманием Хармса именно к философским, метафизическим понятиям, к сфере "идей". Существенно, однако, то, что философия интегрируется Хармсом не в некую собственную философскую систему, а в ткань художественных текстов» [Ямпольский, 1998, с. 14]. Наконец, ОБЭРИУты (и в их числе Хармс) «уходят» от социальной действительности к действительности знаковой, семиотической. Тексты Хармса – это опыт переосмысления некоторых фундаментальных аспектов словесности и попытка её «моделирования». Иными словами, Хармс-поэт и Хармс-философ выступает в роли модельера окружающей его действительности. А это – уже совсем близко к целям данной работы.

Приведу еще несколько цитат из дневников и трактатов Хармса [2000, 2005, URL] со своими вопросами-утверждениями в конце.

- «Назовем первую часть *это*, вторую часть *то*, а переход от одной к другой назовем *не то и не это*. Назовем *не то и не это* "препятствием". Итак: основу существования составляют три элемента: *это, препятствие и то*» (29 мая 1930 г.) – чем не определение «системы»?
- «Тут мы стоим и говорим: вот я вытянул одну руку вперед прямо перед собой, а другую руку назад. И вот я впереди кончаюсь там, где кончается моя рука, а сзади кончаюсь тоже там, где кончается моя другая рука. Сверху я кончаюсь затылком, снизу пятками, сбоку плечами. Вот я и весь. А что вне меня, то уже не я. Теперь, когда мы стали совсем обособленными, почистим наши грани, чтобы лучше видать было, где начинаемся уже не мы. Почистим нижний пункт – сапоги, верхний пункт – затылок – обозначим шапочкой; на руки наденем блестящие манжеты, а на плечи эпюлеты. Вот теперь уже сразу видать, где кончились мы, и началось все остальное» (19-20 ноября 1929 г.) – чем это «моделирова-

ние меня» отличается от описания любой системы и окружающей её среды?

- «Мир, состоящий из чего-то единого, однородного и непрерывного, не может быть назван существующим, потому что, в таком мире, нет частей, а, раз нет частей, то нет и целого. Существующий мир должен быть неоднородным и иметь части» (29 мая 1930 г.) – очень похоже на временную и пространственную гетерогенность среды, которая сегодня признается одним из важнейших свойств экосистем (см., например, [Simberloff, 1980; Розенберг, Смелянский, 1997]), не так ли?
- «Должен сказать, что даже наш вымышленный солярный ряд (это наше частное условие считать одно число больше другого и по этому признаку мы расположили числа, создав солярный ряд), если он хочет отвечать действительности, должен перестать быть прямой, но должен искривиться. Идеальным искривлением будет равномерное и постоянное и при бесконечном продолжении солярный ряд преобразится в круг» (30 мая 1930 г.) – необходимость учета нелинейности в экологическом моделировании?

Это увлекательное занятие можно продолжать и далее...

Однако, «вернемся к нашим баранам (франц. *revenons a nos moutons*)», как призывал судья в одном из самых знаменитых анонимных фарсов XV в. (ок. 1470 г.) об адвокате Пьере Патлене (Pierre Pathelin).

Идеологической основой современной технологической цивилизации является *научная идеология*, или *сциентизм* (англ. *science*). Эта идеология основана на вере в существование небольшого числа точно формулируемых законов природы, на основе которых всё в природе предсказуемо и манипулируемо. Природа рассматривается как гигантская машина, которой можно управлять, если известен принцип её функционирования. Эта научная идеология, как заметил еще **Э. Мах**, часто играет роль «религии технологической цивилизации» (см.: [Шафаревич, 1993]). Её основная догма – это вера в математизацию. Она (догма) утверждает, что всё (или, по крайней мере, всё существенное) в природе может быть измерено, превращено в числа или другие математические объекты, и что путем совершения над ними различных математических манипуляций можно предсказать и подчинить своей воле все явления природы и общества. Эта вера содержится уже в призыве **Г. Галилея** «Измерить все, что измеримо, и сделать измеримым то, что неизмеримо», **И. Кант** говорил,

что каждая область сознания является наукой настолько, насколько в ней содержится математики, **А. Пуанкаре** писал, что окончательная, идеальная фаза развития любой научной концепции – это её математизация. Не только

| | | | |
|---|--|--|---|
|  |  |  |  |
| Мах Эрнст (Ernst Mach; 1838-1916) – австрийский физик, философ- позитивист. | Галилей Галилео (Galileo Galilei; 1564-1642) – итальянский физик, механик, астроном, один из основателей естествознания Нового времени. | Кант Иммануил [Эммануил] (Immanuel Kant; 1724-1804) – немецкий философ; почетный академик Императорской академии наук и художеств в Санкт-Петербурге. | Пуанкаре Анри Жюль (Jules Henri Poincaré; 1854-1912) – французский математик, физик, философ; академик Императорской Санкт- Петербургской академии наук. |

философы, но и «конкретные» специалисты подчеркивали важность математизации «своего направления» в науке (например, гидробиолог **Г.Г. Винберг** [1981, с. 5] писал, что «современные экологические исследования невозможны без использования результатов экспериментальных эколого-физиологических работ и применения количественных [математических] методов»). В некотором смысле можно говорить о том, что мы живем в математической цивилизации – и, может быть, умираем вместе с нею [Шафаревич, 1993; Шитиков и др., 2003, 2005]. Но при всем этом, не будем забывать и то, что «в научной идеологии математизация играет ту же роль, что стандартизация в технике. Простейший путь применения математики – это счет. Но считать можно только однородные объекты. Пусть нам даны, скажем, яблоко, цветок, собака, дом, солдат, девушка, луна. Мы можем сосчитать их и сказать, что их 7 – но 7 чего? Единственный ответ – 7 предметов. Различия между собакой и луной, между яблоком и солдатом исчезают: они все потеряли свою индивидуальность и превратились в лишённые признаков "предметы". Счет убивает индивидуальность. Это самый примитивный при-



Винберг
Георгий
Георгиевич
(1905-1987) –
отечественный
гидробиолог;
чл.-корр.
АН СССР.

мер, но во всех случаях присутствует тот же принцип (*выделено мной. – Г.Р.*)» [Шафаревич, 1993]. Напомню еще и фразу из доброго и старого мультфильма – «Ой, теперь он и тебя сосчитал!» [Прейсен, 1998, с. 11].

И вот на фоне этой идеологии происходит расцвет теоретической экологии в 20-40-е годы прошлого столетия [The Golden Age..., 1978], который «объясняется, прежде всего, тем, что к этому времени сложилась явная диспропорция между бурным накоплением конкретного эмпирического материала и очень слабым его осмыслением в рамках каких-либо обобщающих понятий. Желание обрести теорию было столь сильным, что экологи готовы были принять почти все, что могли предложить им представители других наук, пользующихся вполне заслуженной славой "точных". Фактически теоретическая основа экологии, сформулированная в 20-40-х годах и в значительной своей части сохраняющаяся в учебниках до наших дней, – это система чисто дедуктивных построений, основанных на идеях о равновесных системах и их вероятном поведении при принятии некоторых простых допущений. Такая теория говорит только о "возможном в принципе", но не указывает, какая из многих возможностей реализуется на практике. И простая логистическая кривая **Ферхюльста–Пёрла**, и гораздо более сложные модели взаимодействия популяций, предложенные **А. Лоткой** и **В. Вольтерра**, – все это ти-



пичные примеры именно таких дедуктивных построений» [Гиляров, 1998а, с. 93]. И еще одна, достаточно пространная цитата: «Начав с очень общих вопросов и попыток установить сразу универсальные правила и соотношения, претендующие на статус "законов" (похожих на те, что были известны для физики), экологи пришли к необходимости ставить частные разрешимые задачи. И хотя само по себе решение каждой отдельно взятой задачи, как правило, не приводило к каким-либо крупным обобщениям, в своей совокупности множество ответов на конкретные вопросы давало реальное представ-

ление о тех аспектах устройства живой природы, которые призвана изучать экология... По-видимому, экологическая теория сможет охватить существующую в природе реальность, только когда перестанет трактовать громадное разнообразие ситуаций, в которых оказываются организмы, популяции, сообщества и экосистемы, как некий "шум", мешающий выявлению наиболее существенных закономерностей, и будет рассматривать его как основной предмет своего изучения и важнейший источник информации. При всей сложности положения, в которое экология поставлена своими собственными задачами, успехи ее методологии (а это, наверное, главный результат заканчивающегося столетия) позволяют смотреть в будущее с достаточным оптимизмом, тем более что разнообразие сложившихся конкретных ситуаций (напоминающих порой те, что возникают на шахматной доске) вовсе не исключает наличия довольно ограниченного набора "правил игры"» [Гиляров, 1998б, с. 81-82].

В последнее время в научной методологии активизировался поиск терминов, обозначающих такое понятие как общий *шаблон* или *схему* реализации научного исследования [Шитиков и др., 2011]. К таким представлениям можно отнести и латинскую *концепцию*¹ (*conceptio* – понимание, система; см., например, [Аруцев и др., 2006]), и греческую *парадигму* (*παράδειγμα* – пример, модель, образец; см., например, [Розенберг, Смелянский, 1997]). **В.Н. Тутубалин** с соавторами [1999] продолжил этот поиск и предложил «учение о *колодках мышления*». Выражаясь кратко, «колодка», с одной стороны, – это нечто направляющее и организующее, а с другой – ограничитель излишней свободы². «Вообще, учение о колодках мышления предназначено для внутрirosсийского употребления не только потому, что это – "учение" (в отличие от "теории"), но и потому, что это – учение критическое. Например, вполне возможны изречения типа "Научная теория – это колодка" или "Ученый – это колодник", в которых можно заметить известное сходство

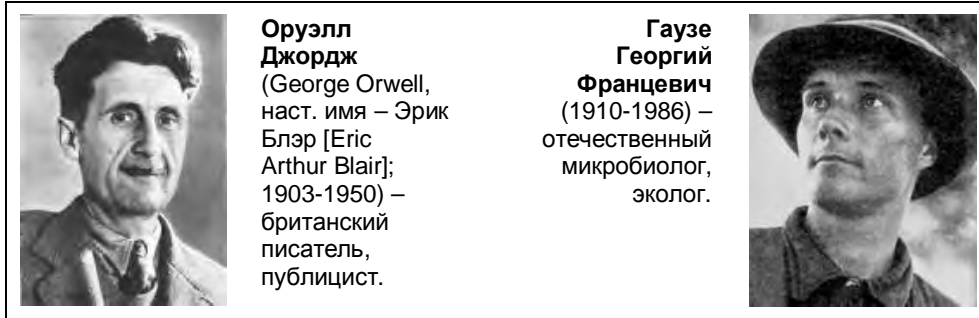


**Тутубалин
Валерий
Николаевич**
(г.р. 1936) –
отечественный
математик.

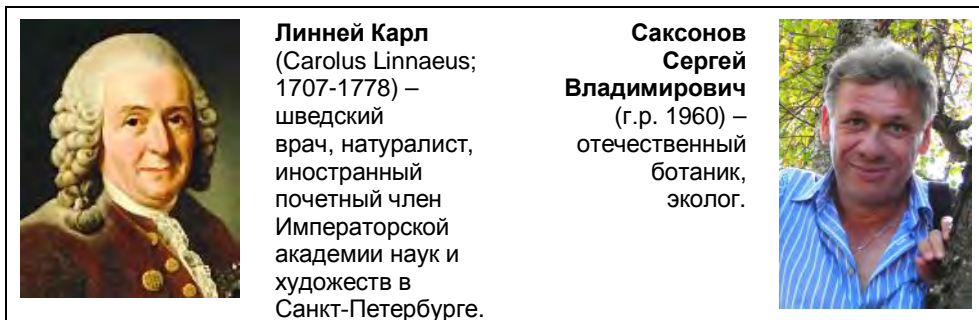
¹ «Концептуальный аспект теоретического знания выражает, прежде всего, парадигмальное "сечение" последнего, задает его топику и риторику, то есть определяет релевантные области применения и способы выражения конституируемых на основе развертывания "порождающей" идеи систем понятий – базовых концептов» (<http://ru.wikipedia.org>); вот так – и не иначе...

² Спектр значений русского слова «колодка» включает в себя, как обувные колодки (т. е. некоторые парадигмальные схемы порождения моделей), так и тормозные колодки или колодки арестантов (с вполне понятными аналогиями).

с лозунгами **Дж. Оруэлла** "Свобода – это рабство", "Война – это мир". Но учение о колодках не является антинаучным по своей направленности, так как вообще было бы смешно включать каждый вечер электрический свет и при этом чувствовать себя идейным противником науки. Наше убеждение состоит в том, что любую критику наука умеет обратить себе на пользу» [Тутубалин и др., 1999, с. 75-76]. Авторы «учения» достаточно подробно исследовали развитие колодок мышления при моделировании динамики природных экологических систем от «пророков» (А. Лотка и В. Вольтерра), через «апостолов» (**Г.Ф. Гаузе**) до «приходских священников»... (кстати, сходное



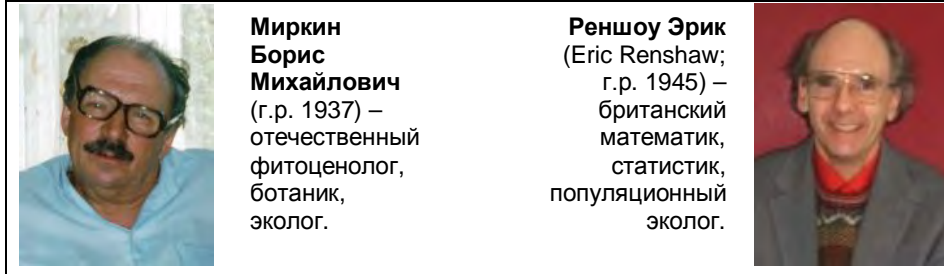
«военизированное» разделение естествоиспытателей [своего рода, «офицерский корпус»] «апробировали» на ботаниках **К. Линней** [1989] и **С.В. Саксонов** [Саксонов, Конева, 2007], а на фитоценологах – **Б.М. Миркин** [Миркин, Наумова, 1998]).



К новым «колодкам» в математическом моделировании [Тутубалин и др., 1999] можно отнести следующие представления и подходы:

1. Многие природные системы можно рассматривать как *самоорганизованные критические системы* [Jørgensen et al., 1998]: предполагается, что экосистемы функционируют в состоянии устойчивого динамического равновесия на границе хаоса. Хотя скорости процессов в этих системах сбалансированы таким образом, чтобы оптимально использовать доступные ресурсы, даже незначительный дисбаланс в параметрах и скоростях может приводить на отдельных промежутках времени к хаотическому по-

ведению и перестройке всей системы в целом или отдельных её компонентов. Развитие этой концепции нашло свое отражение в моделях Э. Реншоу [Renshaw, 1991], представлении об экосистеме, как о «странном аттракторе» [Розенберг, 1985; Schaffer et al., 1986], модели нелинейной демографической динамики [Dennis et al., 1995; Dennis, 2002] и других.



2. Экология имеет дело с принципиально нередуцируемыми иерархическими системами [Jørgensen et al., 1998; Алимов, 2000], где каждый элемент (функциональная единица) также представляет собой систему, которая, в свою очередь, является элементом системы более высокого уровня организации, *et cet̄era*. Принцип иерархической организации сложных систем в целом [Флейшман, 1978, 1982; Розенберг и др., 1999] и биологических систем в частности [Allen, Starr, 1982; Rosenberg, 2006] развивается в неразрывной связи с проблемой характерных масштабов [Schneider, 1994, 2009], в пределах которых формируется структура определенного уровня. Например, А.И. Азовский [2001] проанализировал связь между ха-



актерными масштабами пространства [L] и времени [T] для естественных иерархических систем различной природы и показал, что имеющиеся данные хорошо аппроксимируются степенным соотношением вида $[T] = a[L]^b$, где b – параметр масштаба (*экспонента Хёрста* [Hurst et al, 1965];

см. главу 5, раздел 3), a – переходный коэффициент. Так, было показано, что для планктонных экосистем характерны значения b , варьирующие от 1 (процессы прямого переноса) до 2 (случайные диффузионные процессы типа броуновского движения).



3. Согласно *теории прерывистого равновесия Элдриджа–Гулда* [Eldredge, Gould, 1972], эволюционный процесс происходит скачками, перемежающимися с длительными периодами, в которых не происходит существенных изменений. Экосистемы и сообщества, являющиеся, по сути, динамическими системами, проходят через следующие четыре характерные фазы адаптивного цикла [Carpenter et al., 2001]:

- быстрого роста и активного использования ресурсов среды (r -фаза),
- консервации (стагнации; K -фаза),
- коллапса (разрушения, деструкции; Ω -фаза) и
- обновления (реконструкции; α -фаза).



Элдридж Нильс
(Niles Eldredge;
г.р. 1943) –
американский
палеонтолог,
эволюционист.



Гулд Стивен
(Stephen Jay Gould;
1941-2002) –
американский
палеонтолог,
эволюционист,
историк и
популяризатор науки.

Наиболее важной особенностью этого цикла является существование относительно коротких периодов, в течение которых в системе происходят наиболее существенные изменения – фазы Ω и α . При этом исчезают и появляются новые компоненты (например, виды), изменяются система связей и интегративные свойства. Более длительным периодам постепенного эволюционного развития системы соответствуют фазы r и K . Это позволяет провести, хотя бы в принципе, разделение переменных на быстрые и медленные и упростить тем самым модельное изучение систем, выделив характерные масштабы времен.

Этот краткий экскурс в область математического моделирования экологических систем имеет своей целью показать, что, несмотря на длинный и ветвистый путь, пройденный этой областью науки, вопрос о *практических методах* изучения множественных статистических связей между динамикой численности различных биологических видов и комплексом биотических и абиотических факторов до настоящего времени не был поставлен во главу угла, хотя его актуальность была вполне очевидна уже в 60-е годы XX столетия. Потребовались десятилетия, чтобы модели со случайными вмешательствами и диссипативные структуры стали систематически изучаться в экологии.

Однако [Шитиков и др., 2011, с. 13], «остановившись перед *"проклятием таксономической размерности"*, "модельеры" увлеклись более приятным делом – любоваться, например, математическими красотами детерминированного хаоса (руководствуясь, видимо, известной максимой "если в моде-

ли меньше трех переменных, то она не заслуживает внимания, а если в модели больше семи переменных, то она все равно неразрешима"). Процессы, которые лежат в основе динамики биологического разнообразия, являются комплексными и разнонаправленными. Эти процессы простираются от генетических вариаций в пределах отдельных геномов до ландшафтно-географических градиентов видов в масштабе всей Земли. Обширное количество деталей, которые были бы необходимы, чтобы описать всю эту сложность, превышает способность любого человеческого мозга, даже оснащенного современной компьютерной техникой. Как следствие, возникла необходимость найти какие-либо упрощенные способы осмыслить эту сложность, чтобы облегчить наше понимание структуры и механизмов развития экологических сообществ. Это побудило экологов к активной деятельности, связанной с изобретением новых «колодок» разной степени эфемерности»...

Рост антропогенной нагрузки на окружающую среду во второй половине XX в. привел к обострению многих экологических проблем, один из вариантов решения которых связан с реализацией декларированной в Рио-де-Жанейро в 1992 г. «концепцией устойчивого развития» – стабильного существования человечества и природы; число научных (а больше, – «околонаучных») исследований в этой области огромно; назову лишь несколько наших коллективных работ, в которых имеется достаточно обширная библиография [Розенберг и др., 1996, 1997а,б, 1998а, 2000, 2003а; Розенберг, 2002в; Миркин и др., 2005; Краснощеков и др., 2008 и др.]. Эти исследования индуцировали новый «виток интереса» к математическому моделированию еще более сложных социо-эколого-экономических систем и «экологическому теоретизированию» в самом общем плане.

Тридцать лет тому назад **В.В. Налимов** [1979, с. 9-11] сформулировал несколько причин, по которым нельзя было считать, что в тот момент существовала теоретическая биология:

- «нынешние сложности в развитии биологии связаны именно с трудностями компактного описания того громадного материала, который легко накапливается в результате наблюдений..., компактное описание биологических систем, охватывающее всю сложность их поведения, оказывается невозможным..., биологические явления нужно описывать не в терминах необходимости, а в терминах случайности..., сложность явлений биологического мира такова, что он не может быть описан короче, чем с помощью прямой записи всех наблюдаемых явлений. А по результатам крат-



**Налимов
Василий
Васильевич**
(1910-1997) –
отечественный
математик,
философ.

кой серии наблюдений не удастся записать алгоритм, который бы задавал, хотя бы приближенно, дальнейшее развитие системы»;

- «неприятный сюрприз состоит в том, что, признав природу изменчивости случайной, мы, к своему большому удивлению, лишены возможности использовать привычный вероятностный подход. Ведь статистическое описание возможно, когда по результатам наблюдений, сделанным над малой выборкой, удастся получить некоторое представление о поведении всей возможной последовательности явлений. А в случае с биологической изменчивостью наблюдения над малой последовательностью явлений не позволяют высказать каких-либо суждений о дальнейшем поведении системы. Усреднённые характеристики в отличие от физики здесь не имеют значения»;
- «сейчас часто приходится слышать сетования на то, что существующий язык математики недостаточен для описания биологических явлений, и призыв создать какой-то новый, совсем особый раздел математики, специально приспособленный для моделирования биологических задач. Но мне думается, что дело здесь не в языке, а в том, что мы тут имеем дело с такой ситуацией, когда прошлое не дает никакой информации о будущем. Сложность системы оказывается максимальной, и в этом смысле она случайна»;
- «живые системы предстали перед нами в новом обличье. Это случайные в своем существенном проявлении системы, но случайность здесь в отличие от неживой природы устроена так, что решающую роль играют маловероятные события. Современная наука, включая и такие ее разделы, как теория вероятностей и математическая статистика, оказалась неподготовленной к встрече с подобными необычными структурами».

Так что же мы имеем на сегодняшний день? За это время мало, что изменилось. Моделирование экосистем (в общем случае, – социо-эколого-экономических систем) связано с целым рядом трудностей:

- *методологическими* (теоретическими; связаны со слабой развитостью «теоретических конструкций» современной экологии, что затрудняет и постановку задач, и интерпретацию получаемых результатов; отсутствием единого [специализированного?] математического аппарата для формализации законов функционирования экосистем; отсутствием формализации собственно выбора того или иного подхода к моделированию и пр.);
- *методическими* (связаны с несовершенством средств и методов экологических исследований);
- *информационными* (связаны с трудностями получения [данные должны быть собраны за сравнительно короткий срок, по единой методике, на

обширных территориях и пр.] и дальнейшего обобщения экспериментальных данных [особую роль приобретает, например, оценка качественных величин]; в ряде случаев проведение широкомасштабных натуральных исследований и экспериментов зачастую невозможно или затруднено);

- *алгоритмическими* (связаны с собственно синтезом моделей на основе результатов натуральных исследований [процедуры составления уравнений модели основываются на полуэмпирических закономерностях, правдоподобных рассуждениях, аналогиях, искусстве модельера и др.], необходимостью учитывать пространственную и временную неоднородность экосистем [для них характерны различные масштабы пространства и времени], существенную нелинейность протекающих в них процессов, очень большую размерность получаемых моделей и пр.);
- *интерпретационными* (центральным вопросом является адекватность математических моделей, доверие к ним специалистов-экологов).

Все эти трудности и возможности справиться и преодолеть их, в той или иной степени, обсуждались в этой книге.

Еще один немаловажный аспект теоретико-математического изучения экологических систем – *эстетическое восприятие*. В докладе на собрании Японского математического общества 28 сентября 1993 г. **И.Р. Шафаревич** [1993] сказал: «Но профессионалам-математикам вряд ли нужны какие-либо аргументы в пользу важности эстетического элемента в математике: в разговорах математика все время можно услышать: "изящное доказательство", "прекрасная статья"... С этой точки зрения математика играет противоположную, анти-техническую роль. Мы видим, как под воздействием технологической цивилизации красота все больше исчезает из нашей жизни: из живописи и музыки, из архитектуры наших городов и из окружающей нас природы в виде прекрасных бабочек, цветов и птиц. Математика остается почти единственным островом, где это загадочное явление сохраняется в полной силе... Математика, несомненно, как-то связана со способностью к алгоритмическому, ма-



**Шафаревич
Игорь
Ростиславович**
(г.р. 1923) –
отечественный
математик,
публицист,
общественный
деятель;
академик РАН.

шинообразному мышлению³. С другой стороны, она глубоко связана с эстетическим чувством, которое способно служить противовесом для этой тенденции. И математик имеет свободу выбора, – в каком направлении развития человечества принять ему участие». Вспоминая старый анекдот, так и хочется воскликнуть: «Во-первых, это красиво!..»

Наконец, общеизвестно, что каждый шаг по дороге знаний дается с трудом. Необходимо прикладывать немало усилий для того, чтобы не только



Гейзенберг Вернер
(Werner Karl Heisenberg; 1901-1976)
– немецкий физик,
лауреат Нобелевской
премии (1932 г.).

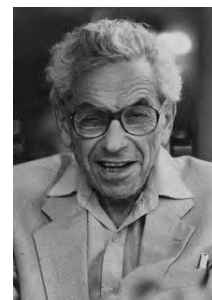
понять те или иные теоретические построения, но и использовать их в своей практической деятельности. И здесь весьма актуально звучат слова **В. Гейзенберга** [1987, с. 197]: «Ученый всегда готов наполнить свою мысль новым содержанием. Для него... вовсе не характерно консервативное... стремление держаться только издавна привычных образцов. Поэтому прогресс в науке обходится, как правило, без сопротивления и пререканий. Дело, однако, оборачивается иначе, когда новая группа явлений заставляет произвести изменения в структуре мышления. Здесь даже наиболее выдающиеся физики (*как и другие представители естественнонаучного знания. – Г.Р.*) испытывают величайшие затруднения, ибо требование изменить структуру мышления вызывает такое ощущение, будто почва уходит из-под ног».

Заканчивая рассмотрение вопросов математического моделирования сложных экологических систем, представляется оправданным указать некоторые направления дальнейшего развития этих подходов. Процесс создания теоретической экологии находится в начале пути, и поэтому построение ма-

³ Добавлю в эти рассуждения еще одну шутовскую нотку и напомним, что **А. Реньи** оставил нам такой афоризм: «Математик – это автомат по переработке кофе в теоремы» (часто и необоснованно эта фраза приписывается другому выдающемуся венгерскому математику **П. Эрдёшу**, который потреблял кофе в огромных количествах; отмечается, что немецкий оригинал этой фразы более удачен, т. к. основан на игре слов: «Satz» – это и «теорема», и «остаток кофе»). Может именно в этом и состоит «алгоритмическая» особенность мышления математиков?..



Реньи Альфред
(Alfréd Rényi;
1921-1970) –
венгерский
математик.



Эрдёш Пол
(Paul Erdős;
1913-1996) –
венгерский
математик.

тематических моделей всех типов, рассмотренных в данной книге, будет продолжаться. Дальнейших успехов в математическом моделировании экологических систем следует ожидать при совместном использовании различных методов моделирования [Беляев и др., 1979а,б; Брусиловский, Розенберг, 1983; Розенберг, 1984; Брусиловский, 1987]. Кроме того, представляется важным построение формализованных рекомендаций о том, какие сведения необходимы исследователю об экосистеме, чтобы выбрать тип модели, требуемую точность, ограничить круг вопросов, «задаваемых» модели, и пр. Практически, единственной (из известных мне) работой в этом направлении остается исследование, в котором получена оценка оптимальной подстройки имитационной модели сложной системы (в частности, системы мониторинга за окружающей средой) с целью оптимального управления ею [Б. Флейшман, С. Флейшман, 1978].

Эвристическая процедура выбора метода моделирования [Мауринь, Ушинская, 1978; Мешковский, 1980], основанная на определении степени детерминированности моделируемой системы с использованием однофакторного дисперсионного анализа и положительно оцененная мною ранее [Розенберг, 1984, с. 93-94], не нашла своего применения. Скорее всего, это связано с тем, что **С. Хёлберт** [Hurlbert, 1984; Козлов, Хёлберт, 2006; Проблемы экологического..., 2008] назвал «мнимыми повторностями (англ. *pseudoreplication*)»: «мнимая повторность определена как проверка статистических гипотез при оценке эффекта влияния фактора по экспериментальным данным, когда группы воздействий не могут быть признаны повторными (хотя выборки были сформированы), или эти повторности не являются статистически независимыми..., мнимая повторность может быть определена в терминах дисперсионного анализа как проверка эффекта воздействия, основанная на оценке дисперсии, неадекватной рассматриваемой гипотезе..., мнимые повторности относятся не к проблеме планирования эксперимента (или выборочного процесса) как такового, а скорее к определенной комбинации планирования эксперимента (или выборочного процесса) и статистического анализа, который неадекватен для проверки поставленных гипотез» [Hurlbert, 1984, p. 187, 190].

В данной работе была предпринята попытка *дать обзор и показать различные способы построения* математических моделей экологических систем, *очертить круг вопросов*, которые могут быть решены с их помощью, и *наметить пути создания* (очень смело!) теоретической экологии. Насколько



**Хёлберт
Стюарт**
(Stuart H.
Hurlbert;
г.р. 1940 г.) –
американский
эколог,
гидробиолог,
лимнолог,
биостатистик.

это удалось – судить читателю. Я буду благодарен коллегам за обсуждение этой работы и конструктивную критику, так как полностью солидарен с мнением **Р. Макинтоша**, высказыванием которого я начал эту книгу (первая цитата после Даниила Хармса), и его же цитатой хочу подойти к её концу [McIntosh, 1975, p. 268]: «большая часть революции в экологии 1950-1960-х гг. приняла форму математизации (роста влияния количественной методологии), теоретизирования (появление новых теоретических представлений) и слияния экологии с другими биологическими дисциплинами (особенно, с генетикой и биологией развития)».



Макинтош Роберт
(Robert Patrick McIntosh; г.р. 1920) – американский фитоценолог, эколог.

Завершу же эту книгу еще одним⁴, как мне кажется, блестящим афоризмом Даниила Хармса (11 марта 1940 г.): «В псалмах Давида есть много утешений на разные случаи, но человек, обнаруживший в себе полное отсутствие таланта, утешений не найдет, даже в псалмах Давида». Жаль, если не повезло мне или кому-то из читателей...

⁴ **Эмиль Кроткий** как-то заметил: «Доклад – это кратчайшее расстояние между двумя цитатами». Так как книга – больше доклада, и из желания, чтобы она получилась хорошей, я заключу её «в раму» из двух пар цитат [Даниил Хармс, Роберт Макинтош – Макинтош Роберт, Хармс Даниил].



Кроткий Эмиль (наст. имя Эммануил Яковлевич Герман; 1892-1963) – отечественный поэт-сатирик, фельетонист.

**Портреты и фотографии заимствованы
из следующих источников**

| № | Действующие лица | Главы | Источник информации |
|----------|--|--------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Абросов Николай Сергеевич | 5 | Фото автора |
| 2. | Азовский Андрей Игоревич | 5, Зак | http://hydro.bio.msu.ru/benthos.htm , http://hydro.bio.msu.ru/Personal/Azovsky.htm |
| 3. | Акчурина Игорь Алексеевич | 7 | [Теоретическая виртуалистика..., 2008] – книга любезно предоставлена А.П. Левичем |
| 4. | Александров Владимир Валентинович | 3 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009, Свирежев\pictures), [Усольцев, 2010, с. 47] |
| 5. | Александрова Вера Даниловна | 7, 8 | Диск «80 лет кафедре геоботаники и экологии растений СПбГУ (ЛГУ)» [Юрцев, Сумерина, 1990, с. 1199; Развитие геоботаники..., 2011, с. 15] |
| 6. | Алексеев Вячеслав Викторович | 1, 5 | http://www.geogr.msu.ru/structure/labs/vie/news/news_detail.php?ID=1403 |
| 7. | Алехин Василий Васильевич | 7 | [Трасс, 1976], http://biogeografers.dvo.ru/pages/0006.htm |
| 8. | Алимов Александр Федорович | 1, 8 | Фото автора |
| 9. | Алпатов Владимир Владимирович | 2 | [Калабухов, Насимович, 1978, с. 114; Малахов, 2006, с. 54] |
| 10. | Альтшуллер Генрих Саулович (псевдоним – Генрих Альтов) | 10 | http://planeta.rambler.ru/users/darbi2006/15030271.html , http://www.altshuller.ru/photo/ |
| 11. | Анаксимандр из Милета (лат. Anaximandros) | 10 | http://www.kalitva.ru/2010/02/page/43/ |
| 12. | Андронов Александр Александрович | 10 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 12], http://www.piplz.ru/page-id-1201.html |
| 13. | Ардити Роже (Roger Arditi) | 5 | http://www.math.sfedu.ru/niimpm/ommee/tyutyun/Katia_Doctor-AgroParisTech_ru.html |
| 14. | Аристотель из Стагиры | 1, 2, 11 | http://www.rate1.com.ua/ua/nauka/906/ |
| 15. | Аррениус Олоф (Olof Wilhelm Arrhenius) | 5 | http://www.nationaalherbarium.nl/fmcollectors/A/ArrheniusOW.htm |
| 16. | Артюхов Владимир Викторович | 11 | [Артюхов, 2009] |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|--|-------|---|
| 17. | Астауров Борис Львович | 7 | http://www.ejonok.ru/nature |
| 18. | Ахилл | 7 | Ахилл – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), http://hlebopechka.ru/index.php?option=com_smf&Itemid=126&topic=79212.msg323954 |
| 19. | Ашер Джеймс (James Ussher [Usher]) | 9 | http://www.svet999.ru/Air_future/Sacred_geo.htm |
| 20. | Ащепкова Лариса Яковлевна | 3 | http://www.mfua.ru/ob_akademii/partners/ofap/kupin4_2006/n4_avt.html |
| 21. | Багров Николай Александрович | 4 | http://museum.hydromet.ru/present/present.html |
| 22. | Базькин Александр Дмитриевич | 5 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009, презентация «ФМШ [1965-1966]») |
| 23. | Байер Пол (Paul Beier) | 3 | http://webpage.pace.edu/mgrigione/BWG/images/bios/beier.jpg |
| 24. | Байес Томас (Reverend Thomas Bayes) | 8, 11 | http://virtonomica.ru/newspaper/65/tomas-bajes-dozhdavshijsya-slavy.html |
| 25. | Баканов Александр Иванович | 1, 2 | [Количественные методы экологии..., 2005] |
| 26. | Балушкина Евгения Владимировна | 4, 6 | Фото автора |
| 27. | Баннел Фрэд (Fred L. Bunnell) | 3 | http://farpoint.forestry.ubc.ca/FP/search/Faculty_View.aspx?FAC_ID=22507&display=AFFIL&BACK=-2 |
| 28. | Баранов Федор Ильич | 5 | Баранов Федор Ильич – Википедия http://ru.wikipedia.org/wiki/ , http://www.klgtu.ru/ru/departments/fpr/promriba/baranov.php , |
| 29. | Бартини Роберто Орос ди (Роберт Людвигович; Roberto Oros di Bartini) | 10 | [Усольцев, 2010, с. 129], http://forum.lightray.ru/viewtopic.php?p=133805 |
| 30. | Барцев Сергей Игоревич | 3 | http://www.ibp.ru/person/barcev.php |
| 31. | Бауле Бернхард (Bernhard Baule) | 7 | http://owpodb.mfo.de/detail?photo_id=254 |
| 32. | Бауэр Эрвин Симонович | 7, 10 | [Усольцев, 2010, с. 244], http://molbiol.ru/forums/lofi/version/index.php/t104948.html , http://www.persons-info.com/index.php?id=170&lang=ru&pid=4726&srch_tab=194 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|---|------|--|
| 33. | Бах Иоганн Себастьян (Johann Sebastian Bach) | 5 | http://www.intoclassics.net/news/2009-11-11-10809 |
| 34. | Баха-Улла (Али Нури Мирза Хусейн) | 10 | http://www.religion.in.ua/main/history/2605-baxai-globalizm-s-chelovecheskim-licom.html |
| 35. | Безикович Абрам Самойлович | 5 | http://www.newswe.com/index.php?go=Pages&in=view&id=1002 |
| 36. | Бек Брюс (M. Bruce Beck) | 3 | http://www.engineeringchallenges.org/cms/7125/8602.aspx , http://www.modeling.uga.edu/beck/public_html/about_us_welcome.htm |
| 37. | Беклемишев Владимир Николаевич | 1, 5 | [Малахов, 2006, с. 80; Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 21], http://www.biogeographers.dvo.ru/pages/0019.htm |
| 38. | Беллман Ричард (Richard Ernest Bellman) | 3 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2010&ho=8 |
| 39. | Беляев Валерий Иванович | 3 | Фото автора |
| 40. | Бердников Сергей Владимирович | 3 | http://www.ssc-ras.ru/ras/page536.html |
| 41. | Бернулли Даниил (Daniel Bernoulli) | 7, 9 | Бернулли Даниил – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |
| 42. | Бернштейн Сергей Натанович | 2, 7 | http://www.nas.gov.ua/Person/B/Pages/default.aspx |
| 43. | Берталанфи Людвиг фон (Ludwig von Bertalanffy) | 3, 7 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2006&ho=9 , http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/40702 |
| 44. | Бетти Эмилио (Emilio Betti) | 11 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=3877 |
| 45. | Библер Владимир Соломонович | 9 | http://berkovich-zametki.com/2006/Zametki/Nomer7/Berljand1.htm |
| 46. | Бивертон Раймонд (Raymond John Neaphy Beverton) | 5 | [Beverton, 2002, p. 132] |
| 47. | Бигон Майк (Michael E. Begon) | 10 | [Begon et al., 1998], http://www.zoominfo.com/search#search/profile/person?personId=56238775&targetid=profile |
| 48. | Бинэ Жак (Jacques Philippe Marie Binet) | 5 | http://www.profcardy.com/matematicos/diaFalec.php?morte_cod=1205 |
| 49. | Бир Стафорд (Anthony Stafford Beer) | 4 | http://www.econfin.ru/rus/library/generalproblems/bussystem/index.php?3214 , http://www.koob.ru/beer/ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|---|----------|---|
| 50. | Бобылев Сергей Николаевич | 3 | http://www.mgubs.ru/?sc=317 , http://kafepn.narod.ru/staff_bobylev.html , http://www.lgz.ru/article/8797/ |
| 51. | Бобырев Александр Евгеньевич | 3 | Фото из архива Е.А. Криксунова |
| 52. | Боголюбов Александр Григорьевич | 2, 5 | Фото из архива А.Г. Боголюбова |
| 53. | Боголюбов Николай Николаевич | 9 | http://www.phys.msu.ru/rus/news/archive/20090821573/ |
| 54. | Бокс Джордж (George Edward Pelham Box) | 6 | http://www.engr.wisc.edu/ie/faculty/box_george.html |
| 55. | Больцман Людвиг (Boltzmann Ludwig) | 9 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2006&ho=9 , http://ritz-btr.narod.ru/gliozzi.html |
| 56. | Большаков Владимир Николаевич | 5 | Фото автора |
| 57. | Бомбелли Рафаэль (Rafael Bombelli [Mazzoli]) | 9 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=4178 |
| 58. | Борзенков Владимир Григорьевич | 7 | http://www.flip.kz/descript?cat=people&id=10736 |
| 59. | Борн Макс (Max Born) | 8 | http://salgarys.narod2.ru/n_m_karamzin/tom_10-i-glava_3-ya/ |
| 60. | Борхес Хорхе (Jorge Francisco Isidoro Luis Borges Acevedo) | 2 | http://gloss.ua/olesia/friends_marks/list-46-60 |
| 61. | Борщёв Андрей Владиленович | 3 | http://www.xjtek.ru/file/177/ |
| 62. | Браун Джеймс (James Hemphill Brown) | 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 32], http://www.esa.org/history/Awards/bulletin/odum2001.pdf |
| 63. | Браун Карл Фердинанд (Karl Ferdinand Braun) | 10 | http://www.nobellaureate.ru/nobel_list/a/braun_ferdinand |
| 64. | Браун-Бланке Жозья (Josias Braun-Blanquet) | 1, 8, 10 | [Трасс, 1976], http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/BRAU1884.htm |
| 65. | Брацун Дмитрий Анатольевич | 3 | http://science.trajan.ru/index.html |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|--|----------|---|
| 66. | Бредер Чарльз (Charles Marcus Breder, Jr.) | 10 | [Breder, 2004] |
| 67. | Бриллюэн Леон Николя (Leon Nicolas Brillouin) | 7, 10 | http://www.freebase.com/view/en/leon_brillouin , http://www-llb.cea.fr/presllb/leonbrillouin_e.pdf |
| 68. | Бродбент Саймон (Simon R. Broadbent) | 5 | http://www.123people.co.uk/ext/frm?ti=person%20finder&search_term=simon%20broadbent&search_country=GB&st=person%20finder&target_url=http%3A%2F%2Fwww.agf.org.uk%2Fabout-us%2Ftrustees%2Fsimon-broadbent%2Findex.html |
| 69. | Бродский Иосиф Александрович | 1 | http://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Иосиф_Бродский.jpg |
| 70. | Брукс-мл. Фредерик (Frederick Phillips Brooks, Jr.) | 3 | http://www.cs.unc.edu/~brooks/ , http://old.sim-mfti.ru/news/-fl=211&doc=883.htm |
| 71. | Брусиловский Павел Михайлович | 4, 7, 10 | Фото автора и из архива П.М. Брусиловского |
| 72. | Будыко Михаил Иванович | 4 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 34], http://www.ozon.ru/context/detail/id/2458058/ |
| 73. | Букатова Инесса Леонидовна | 4 | Фото из архива И.Л. Букатовой |
| 74. | Булгаков Николай Гурьевич | 10 | Фото автора, http://ecology.genebee.msu.ru/3_SOTR/CV_Bulgakov.htm |
| 75. | Буль Джордж (George Boole) | 5, 10 | http://vpn.int.ru/index.php?name=Biography&op=page&pid=790 |
| 76. | Бульон Виктор Валентинович | 3 | Фото из архива В.В. Бульона |
| 77. | Буридан Жан (Jean Buridan) | 7 | http://www.i-u.ru/biblio/persons.aspx?id=570 |
| 78. | Бусленко Николай Пантелеймонович | 3 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=5432 |
| 79. | Бэкон [Бекон] Роджер (Roger Bacon) | 2 | http://molecular.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/bacon.html |
| 80. | Бэнкс Джон (John E. Banks) | 1 | http://www.tacoma.washington.edu/travel/about.cfm , http://courses.washington.edu/cr2008/yucatanfiretower.JPG , http://faculty.washington.edu/banksj/ |
| 81. | Бэрроу Джон (John David Barrow) | 10 | http://www.damtp.cam.ac.uk/user/jdb34/ |
| 82. | Вавилин Василий Александрович | 5 | Фото Э.В. Абросимовой (ИЭВБ РАН) |
| 83. | Ваганов Евгений Александрович | 2, 3 | Фото автора, http://www.krao.ru/im-fullsize.php?col=184 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|---|------------|--|
| 84. | Вагнер Мориц (Moritz Friedrich Wagner) | 1 | http://ru.wikipedia.org/wiki/M.Wagner |
| 85. | Вальд Абрахам (Abraham Wald) | 5 | http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/PictDisplay/Wald.html , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 86. | Вальтер Генрих (Heinrich [Karl] Walter) | 9 | http://www.amazon.com/Walters-Vegetation-Earth-Siegmar-Walter-Breckle/dp/3540433155#reader_3540433155 |
| 87. | Ван Вален Ли (Leigh M. Van Valen) | 7 | http://pondside.uchicago.edu/ecol-evol/people/vanvalen.html |
| 88. | Ван дер Свинден Ян (Jan Hendrik van der Swinden) | 9 | http://nl.wikipedia.org/wiki/Jean_Henri_van_Swinden |
| 89. | Ван Дин Джордж (George M. van Dyne) | 3 | http://lamar.colostate.edu/~aknapp/ey505/Ecosystems%20lect%20conclusion%20and%20Disc%202009%20web.ppt |
| 90. | Ван-дер-Марель Эдди (Eddy van der Maarel) | 8 | http://www.vaxtbio.uu.se/resfold/maarel.htm |
| 91. | Ван дер Роэ Людвиг Мисс (Ludwig Mies van der Rohe) | 5 | http://homepage.mac.com/acam.bilbao/alemania1/Arquitectos.htm |
| 92. | Вапник Владимир Наумович | 4 | http://www.ipu.ru/s_001/s_001_003_009_0000000000.htm , http://ipk.admin.tstu.ru/sputnik/index/str/resurs.files/teormin.ifmo.ru/researchers/person/vladimir-vapnik.html |
| 93. | Василевич Владислав Иванович | 2, 3, 8, 9 | Фото Т.М. Лысенко (ИЭВБ РАН), фото автора, [Развитие геоботаники., 2011, с. 16] |
| 94. | Веб Джон (John K. Webb) | 10 | http://www.phys.unsw.edu.au/STAFF/ACADEMIC/webb.html |
| 95. | Вебер Эрнст Генрих (Ernst Heinrich Weber) | 10 | http://psychology.net.ru/dictionaries/biography.html?word=122 , https://www.hse.ru/data/2010/02/03/1229660753/22_Sensornye_sistemy.pps |
| 96. | Вейбулл Валоди (Waloddi E.H. Weibull) | 5 | http://weibull.trending.toolkit.tripod.com/wtt03/wtt03.html , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 97. | Вейерштрасс Карл (Karl Theodor Weierstrass) | 5 | http://www.calend.ru/day/10-31/ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|---------------------------|---|
| 98. | Вейль Герман (Hermann Klaus Hugo Weyl) | 10 | http://free-math.ru/publ/istorija_matematiki/velikie_matematiki/vejl_german_klaus_gugo/22-1-0-162 , http://www.peoples.ru/science/mathematics/hermann_weyl |
| 99. | Вернадский Владимир Иванович | 1, 3, 5, 10, 11 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 43], http://www.emc.komi.com/03/03/024.htm , http://www.rulex.ru/rpg/portraits/21/21549.htm , http://community.livejournal.com/msk_vernadskogo/3027.html |
| 100. | Вест Джеффри (Geoffrey West) | 10 | http://en.wikipedia.org/wiki/Geoffrey_West |
| 101. | Вестгоф Виктор (Victor Westhoff) | 8 | http://www.iavs.org/pdf/Westhoff.pdf |
| 102. | Виленский Ури (Uri Wilensky) | 3 | http://psoc.northwestern.edu/people/bio/uri-wilenski |
| 103. | Винберг Георгий Георгиевич | 3, 8, 10, Зак | http://www.persons-info.com/index.php?pid=6515 , [Гиляров, 2005, с. 47] |
| 104. | Винер Норберт (Norbert Wiener) | 3, 4 | http://inf.1september.ru/2006/12/10.htm , http://www.adeptis.ru/vinci/m_part1.html , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 105. | Вит К. Де (С.Т. [Kees] de Wit) | 3 | [Van Keulen, 2008, p. 55], http://icasa.net/news/40Years.pdf |
| 106. | Виттих Владимир Андреевич | 7 | Фото автора, http://www.ssc.smr.ru/sot_vittih.html |
| 107. | Вогюэ Эжен де (Eugène-Melchior vicomte de Vogüé) | 2 | http://www.biblioclub.ru/mxk/index.php?cat=%CF%E0%F2%F0%E5%F2&page=10 |
| 108. | Войнов Алексей Аркадьевич (Alexey Voinov) | 3, 5 | http://www.likbez.com/AV/ , http://www.ulb.ac.be/ceese/STAFF/safonov/ISEERC1.htm |
| 109. | Волленвейдер Ричард (Richard Albert Vollenweider) | 6 | http://www.rsc.ca/documents/VollenweiderRichardElectedin198919222007.pdf |
| 110. | Волькенштейн Михаил Владимирович | 7 | http://www.lanbook.com/publishing-house/author.php?pl2_cid=143&pl2_id=68 |
| 111. | Вольтерра Вито (Vito Volterra) | 1, 3, 5, 7, 10, Зак | [Kingsland, 1995, p. 108], http://elt-preview.host1.elementy.ru/lib/430806?context=20615 , http://www.maths.otago.ac.nz/home/undergraduate/maths/papers/math362/math362.php , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|--------------|--|
| 112. | Ворович Иосиф Израилевич- Гиршевич | 3 | http://www.relga.sfedu.ru/n18/port18.htm |
| 113. | Вошинин Александр Павлович | 2 | http://www-sbras.nsc.ru/interval/index.php?j=Community/OurHistory&PHPSESSID=341f079cf98621eb2dfa4585477a78e0 |
| 114. | Вригт Георг (Georg Henrik von Wright) | 7 | http://www.yle.fi/elavaarkisto/?s=s&g=4&ag=27&t=71 |
| 115. | Врунгель Христофор Бонифатьевич | 3 | http://www.totalmp3.ru/?p=7806 |
| 116. | Вудвелл Джордж (George M. Woodwell) | 7 | http://www.dartmouth.edu/~ilead/2008summer.html |
| 117. | Вудивисс Фрэнк (Frank S. Woodiwiss) | 4, 6 | http://i.picoodle.com/674gj41d |
| 118. | Вудменси Роберт (Robert G. Woodmansee) | 3, 6 | http://warnercnr.colostate.edu/~bobw/LandCenter/BY220_Background/rgwcvnfr.html |
| 119. | Вэндермир Джон (John H. Vandermeer) | 1 | http://x-journals.com/2010/02/ , http://www.cscs.umich.edu/primaryfaculty.html |
| 120. | Габор Денис (Gabor Dennis) | 4 | http://www.nobeliat.ru/year.php?year=1971 |
| 121. | Галилей Галилео (Galileo Galilei) | 1, 7, Зак | http://www.devishnik.md/forum/viewtopic.php?f=138&t=1744 , http://www.queen.peoples.ru/queen.peoples.ru/science/astronomy/galilei/history.html http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly [Трасс, 1976] |
| 122. | Гамс Гельмут (Helmut Gams) | 8, 9 | |
| 123. | Гарвей Вильям (William Harvey) | 10 | http://www.vse-znaykin.ru/garvey.php |
| 124. | Гаспарский Войчек (Wojciech W. Gasparski) | 6 | http://cebi.pl/new/en/about-us/members/prof-wojciech-w-gasparski.html |
| 125. | Гастев Юрий Алексеевич | 1 | http://www.polit.ru/institutes/2008/09/02/people68.html |
| 126. | Гастон Жулия (Julia Maurice Gaston) | 5 | http://mathblogger.free.fr/index.php?m=02&y=08&d=06&entry=entry080206-095104 , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 127. | Гауди-и-Корнет Антонио (Antonio Plácido Guillermo Gaudí y Cornet) | 5 | Гауди-и-Корнет Антонио – Википедия http://ru.wikipedia.org/wiki |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|---------------------|--|
| 128. | Гаузе Георгий Францевич | 5, 6, 8, 10, Зак | [Малахов, 2006, с. 57, 61; Kingsland, 1995, p. 147], http://invert.soil.msu.ru/images/stories/Site-Library/Istoria%20kafedry/My%20pomnim%20eti%20imena/Gauze.pdf |
| 129. | Гегель Георг (Georg Wilhelm Friedrich Hegel) | 10 | http://www.kalitva.ru/librory/citata/page/18/ |
| 130. | Гёдель Курт (Kurt Gödel) | 4, 7 | http://wiki.lik590.ru/doku.php/tema:gjodelja , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 131. | Гейзенберг Вернер (Werner Karl Heisenberg) | 3, 10, 11, Зак | http://school.ort.spb.ru/library/physics/11-07-08/proekt/Ageeva/heisenberg.html , http://nuclphys.sinp.msu.ru/persons/images/heisenb2.jpg |
| 132. | Геккель Эрнст (Ernst Heinrich Philipp August Haeckel) | 10, 11 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 50], http://www.philographikon.com/portraitsg-1.html , http://starget.ru/%D0%93%D0%B5%D0%BA%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D1%8C , http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ernst_haeckel_3.jpg |
| 133. | Гексли Томас (Thomas Henry Huxley) | 3 | http://www.browse.ms/surf.php?q=aHR0cDovL3d3dy5teXNwYWwNILmNvbS9jaGFyYGVzX2Rhcndpbl9ldm9sdXRpb24%3D |
| 134. | Гелашвили Давид Бежанович | 2, 5 | Фото автора |
| 135. | Геловани Виктор Арчилович | 3 | http://www.biografija.ru/show_bio.aspx?id=22849 |
| 136. | Генрих I (Henry I Beauclerc) | 9 | [Henry I of England – Wikipedia] |
| 137. | Геодакян Виген Артаваздович | 7 | Армянская энциклопедия фонда «Хайазг» – Геодакян (http://ru.hayazg.info/) |
| 138. | Георгиевский Анатолий Борисович | 5 | http://bluebells.narod.ru/uslugi/georg.html |
| 139. | Гершензон Сергей Михайлович | 7 | http://vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/MEN/IVANOV.HTM |
| 140. | Гёте Иоганн (Johann Wolfgang von Goethe) | 1 | http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-22735/ |
| 141. | Гилпин Майкл (Michael E. Gilpin) | 5, 7 | http://www-biology.ucsd.edu/classes/old.web.classes/bieb178/bieb178/ |
| 142. | Гильманов Тагир Габдулнурович (Tagir Gilmanov) | 4, 6 | http://www.icarda.org/Publications/AnnualReport/96/Annual96.pdf |
| 143. | Гиляров Алексей Меркурьевич | 1, 7, 10 | Фото автора |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-------------|---|
| 144. | Гинзбург Лев Рувимович (Lev R. Ginzburg) | 5, 6, 7 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; презентация «ФМШ [1965-1966]»), http://www.matmeh1967.ru/catalog.htm |
| 145. | Гинзбург Эмиль Хаимович | 2 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; презентация «ФМШ [1965-1966]») [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 53], http://sciweb.nybg.org/Science2/libr/finding_guide/glearec.asp , http://www.botany.org/awards_grants/detail/bsamerit.php , http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/GLEA1882.htm |
| 146. | Глизон Генри (Henry Allan Gleason) | 2, 5, 8, 10 | http://www.123people.de/s/albrecht+gnauck (www.tu-cottbus.de), http://moodle.milrti.ru/file.php/1/milrti2008.pdf |
| 147. | Гнаук Альбрехт (Albrecht H. Gnauck) | 3 | http://slovari.yandex.ru/~книги/БСЭ/Гоголь%20Николай%20Васильевич/ |
| 148. | Гоголь Николай Васильевич | 4 | http://www.umz.umich.edu/biodiversity/node/264 |
| 149. | Гольдберг Дебора (Deborah E. Goldberg) | 1 | http://www.sigevo.org/gec-summit-2009/ |
| 150. | Голдберг Дэвид (David E. Goldberg) | 4 | http://meteo.by/calendar/2010-6-2/ |
| 151. | Голованов Ярослав Кириллович | Вв | Фото автора |
| 152. | Голуб Валентин Борисович | 9 | http://www.demoscope.ru/weekly/2009/0365/nauka01.php |
| 153. | Гомпертц Бенджамин (Benjamin Gompertz) | 5 | http://spkurdyumov.narod.ru/Mat100.htm , http://ftp.krasn.ru/personal.php?persid=30 |
| 154. | Горбань Александр Николаевич | 4, 7 | [50 лет заповедному..., 2009, с. 30], http://www.persons-info.com/index.php?pid=9348 |
| 155. | Гордягин Андрей Яковлевич | 2 | http://lslold.ksu.ru/virt_vyst/27/Landau_4/gorobez.htm |
| 156. | Горобец Борис Соломонович | 10 | Фото из архива Ф.А. Суркова |
| 157. | Горстко Александр Борисович | 3 | http://www.russika.ru/ef.php?s=2242 |
| 158. | Горчаковский Павел Леонидович | 1 | http://www.bioticregulation.ru/contacts_r.php , http://www.bioticregulation.ru/contacts_r.php |
| 159. | Горшков Виктор Георгиевич | 10 | http://www.humboldt.edu/ecomodel/who.htm , http://www.ufz.de/index.php?en=3679 |
| 160. | Гримм Волкер (Volker Grimm) | 3, 5 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 57], http://mvz.berkeley.edu/Grinnell/grinnellvision.html |
| 161. | Гринелл Джозеф (Joseph Grinnell) | 10 | |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|--------------------|--|
| 162. | Гринченко Сергей Николаевич | 9 | http://www.ipiran.ru/info/?grinchenko , http://conf.cpic.ru/eva2008/rus/members/member_4053.html |
| 163. | Гудмен Лео (Leo A. Goodman) | 5 | http://galton.uchicago.edu/faculty/emeriti/goodman/index.shtml |
| 164. | Гулд Стивен (Stephen Jay Gould) | Зак | Гулд Стивен Джей – Википедия http://ru.wikipedia.org/wiki |
| 165. | Гурман Владимир Иосифович | 3 | http://www.botik.ru/PSI/disk_20/photos/s/07-psi-ras-staf_fr/pindex.html |
| 166. | Гюйгенс Христиан (Christiaan Huygens) | 9 | http://www.mywatch.ru/watch-art/art_305.html |
| 167. | Дайс Ли (Lee Raymond Dice) | 2, 9 | http://siarchives.si.edu/findingaids/FARU7357.htm (Record Unit 7357. American Society of Mammalogists, Records, 1919-1993 and undated / By Martin W. Schein; Series 8. – Historians' photo collection / Folder 19. Photo: Lee R. Dice) |
| 168. | Дали Сальвадор (Salvador Felipe Jacinto Dalí Domènech) | 5, 10 | http://ru.wikipedia.org/wiki/Salvador_Dali |
| 169. | Дарбин Джеймс (James Durbin) | 2 | http://www.york.ac.uk/depts/math/histstat/people/durbin.gif |
| 170. | Дарвин Чарльз (Charles Robert Darwin) | 1, 4, 5, 7, 10, 11 | http://ru.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin , http://encyklopedia.narod.ru/bios/nauka/darwin/darwin.html , http://elproyctomatriz.wordpress.com/2010/03/22/lamarck-y-la-venganza-del-imperio-iii-la-fe-en-la-seleccion-natural/ , http://lenta.ru/news/2009/12/14/darwin/ |
| 171. | Дгебуадзе Юрий Юлианович | 3 | Фото автора |
| 172. | Дегерменджи Андрей Георгиевич | 3, 5 | Фото автора, http://www.soran1957.ru/?id=w20070417_5_18148 |
| 173. | Дегерменджи Надежда Николаевна | 5 | http://kodb.krasgmu.ru/page_user.php?id=11680&cat=wall |
| 174. | Де Йонг Кеннет (Kenneth A. De Jong) | 4 | http://www.sigevo.org/gecco-2007/tutorials.html |
| 175. | Де Кудр Теодор (Theodor Des Coudres) | 10 | http://www.uni-leipzig.de/unigeschichte/professoren/katalog/leipzig/DesCoudres_29 |
| 176. | ДеАнжелис Дональд (Donald L. DeAngelis) | 3 | http://www.123people.com/s/don+deangelis , http://www.bio.miami.edu/Fac/DeAngelis.html |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|------|--|
| 177. | Декарт Рене (фр. René Descartes; лат. Renatus Cartesius) | 10 | http://antropolog.ru/doc/library/miditation , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 178. | Джентльмен Роберт (Robert C. Gentleman) | 2 | http://radhakrishna.typepad.com/rks_musings/page/8/ , http://academic.research.microsoft.com/Author/1281996 |
| 179. | Джини Коррадо (Corrado Gini) | 2, 5 | http://www.eumed.net/cursecon/economistas/Gini.htm |
| 180. | Диоген Лаэртский | 2 | http://lanbook.lancom.ru/2010/02/page/2/ |
| 181. | Дойчман Дуглас (Douglas H. Deutschman) | 3 | http://www-rohan.sdsu.edu/faculty/dhd/public/deutschman.htm |
| 182. | Докинз Ричард (Clinton Richard Dawkins) | 7 | http://richarddawkins.net/articles/485902-richard-dawkins-to-speak-at-university-of-alaska-at-fairbanks , http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/politics/7136682.stm |
| 183. | Долло Луи (Louis Dollo) | 7 | http://old.college.ru/biology/course/content/scientist/dollo.html |
| 184. | Дологовский Игорь Михайлович | 2 | Фото С.В. Саксонова |
| 185. | Домбровский Юрий Анатольевич | 3 | http://www.2015.ru/1209183 |
| 186. | Друде Оскар (Carl Georg Oscar Drude) | 9 | http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/DRUD1852.htm |
| 187. | Дружинин Владимир Николаевич | 9 | http://subscribe.ru/archive/religion.apologia/200712/19143043.html |
| 188. | Дунин-Барковский Виталий Львович | 4 | Фото С.В. Саксонова, http://nisms.krinc.ru/honor.htm |
| 189. | Дюпре Джон (John Dupré) | 9 | http://www.genomicsnetwork.ac.uk/egenis/people/academicstaff/forename,207.en.html |
| 190. | Евклид | 7 | Евклид – Википедия (http://chronology.org.ru/), http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 191. | Еленкин Александр Александрович | 5 | Музей Ботанического института им. В.Л. Коморова РАН (Санкт-Петербург), http://ru.wikipedia.org/wiki/Elenkin |
| 192. | Еськов Валерий Матвеевич | 5 | Фото автора, http://lib.surgu.ru/upload/221-eskov.pdf |
| 193. | Ефремов Игорь Владимирович | 4 | [Ефремов, 2008], http://www.bookean.ru/personality/98867 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|----------------|--|
| 194. | Жаботинский Анатолий Маркович | 5 | http://hopf.chem.brandeis.edu/anatol/anatol.htm |
| 195. | Животовский Лев Анатольевич | 2 | Фото автора |
| 196. | Жирмунский Алексей Викторович | 10 | http://www.rodoslov.ru/4images/categories.php?cat_id=8 |
| 197. | Заболоцкий Николай Алексеевич | 5 | http://articles.excelion.ru/science/literatura/other/00925059.html |
| 198. | Заварзин Георгий Александрович | 9 | Фото автора |
| 199. | Заде Лотфи (Lotfi Ali Asker Zadeh) | 1, 2, 5, 11 | http://photos.disput.az/?showtopic=194555 , http://www.baku.ru/enc-show.php?cmm_id=276 &id=65156&c=1752 |
| 200. | Заславский Борис Григорьевич | 3, 5 | Фото из архива Б.Г. Заславского |
| 201. | Захаров Владимир Михайлович | 2 | Фото автора |
| 202. | Зенон Элейский | 7 | Зенон – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |
| 203. | Зилов Евгений Анатольевич | 1, 3 | http://baikalarea.ru/irkutsk/peoples/potomokricarey.htm |
| 204. | Зинченко Татьяна Дмитриевна | 4, 6 | Фото автора |
| 205. | Зоммерфельд Арнольд (Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld) | 10 | http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Pict Display/Sommerfeld.html |
| 206. | Зур Алэн (Alain F. Zuur) | 2 | http://www.highstat.com/staff.htm , http://www.amazon.com/Alain-F.-Zuur/e/B001 JRWU88 , http://www.broddgar.com/staff.htm |
| 207. | Зюсс Эдуард (Eduard Suess) | 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 79], http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/ 1-2002/screp-1.htm |
| 208. | Иваницкий Генрих Романович | 7 | http://www.zamos.ru/dossier/i/4378/ , http://viperson.ru/wind.php?ID=11694 |
| 209. | Ивантер Эрнест Викторович | 2 | Фото Т.М. Лысенко (ИЭВБ РАН) |
| 210. | Ивахненко Алексей Григорьевич | 3, 4, 6 | Фото автора, http://vg-bud.com.ua/index/page/99/ , http://www.gmdh.net/AG/AG.htm |
| 211. | Ивлев Виктор Сергеевич | 3, 5 | Фото из архива А.М. Гилярова, [Виктор Сергеевич Ивлев., 2007] |
| 212. | Изместьева Любовь Равильевна | 3 | Фото автора |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|------------------|---|
| 213. | Ильинский Алексей Порфирьевич | 5, 7 | Музей Ботанического института им. В.Л. Коморова РАН (Санкт-Петербург), [Трасс, 1976] |
| 214. | Ильичев Виталий Григорьевич | 3, 5 | Фото автора и из архива В.Г. Ильичева |
| 215. | Иннис Джордж (George S. Innis) | 3 | Playback: A publication dedicated to our unit's family of members, volunteers, supporters, and staff. – Austin (TX): Spring, 2008. – P. 2. (Innis-SCS_playbackspring08.pdf). |
| 216. | Ионеско Эжен (Eugène Ionesco) | 10 | http://altai.peoples.ru/art/theatre/dramatist/ionesco/ photo.html |
| 217. | Ипатов Виктор Семёнович | 7, 8, 9 | Фото Т.М. Лысенко (ИЭВБ РАН), [Развитие геоботаники..., 2011, с. 18], Диск «80 лет кафедре геоботаники и экологии растений СПбГУ (ЛГУ)» |
| 218. | Исаев Александр Сергеевич | 3 | Фото автора, http://www.radiorus.ru/issue.html?id=287346&rid= |
| 219. | Иудин Дмитрий Игоревич | Вв, 5 | Фото автора |
| 220. | Ихака Росс (Ross Ihaka) | 2 | http://www.stat.auckland.ac.nz/2008/ ihaka-pickering/ , http://www.stat.auckland.ac.nz/~ihaka/ |
| 221. | Йоргенсен Свен (Sven Erik Jørgensen) | 1, 3, 6 | http://www.innovations-report.de/html/berichte/ preise_foerderungen/bericht-63813.html , http://www.farma.ku.dk/index.php?id=1472 , http://www.unisi.it/santachiara/pdf/chair_cv/ cv_Jorgensen.pdf |
| 222. | Какутани Шизуо (Shizuo Kakutani) | 5 | http://en.wikipedia.org/wiki/Shizuo_Kakutani , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematici ans_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 223. | Камшилов Михаил Михайлович | 7 | http://www.kolasc.net.ru/russian/news/K/Kam6ilov MihailMiha0lovi7.htm |
| 224. | Камю Альбер (Albert Camus) | 10 | http://sergei-sondra.livejournal.com/ |
| 225. | Кант Иммануил [Эммануил] (Immanuel Kant) | 6, 9, 11, Зак | http://www.kalitva.ru/134153-immanuil-kant- aforizmy.html , http://www.citycat.ru/historycentre/index.cgi?iday= 22&imon=04&last.lang=ru |
| 226. | Кантор Георг (Georg Ferdinand Ludwig Philipp Santor) | 5 | http://www.diary.ru/~Organon/p39914959.htm , http://sjogodni.org.ua/publ/8-5-3 , http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematici ans_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 227. | Карно Сади (Nicolas Léonard Sadi Carnot) | 10 | http://www.vokrugsveta.ru/telegraph/theory/1185/ |
| 228. | Карпов Даниэль Николаевич | 9 | Фото автора |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-----------------|--|
| 229. | Карпов Юрий Глебович | 3 | http://j4.ifel.ru/content/html/topic.html |
| 230. | Касвелл Хал (Hal Caswell) | 5 | |
| 231. | Каулес Генри (Henry Chandler Cowles) | 10 | [Трасс, 1976], http://oz.plymouth.edu/~lts/ecology/ecohistory/cowles.html |
| 232. | Кафка Франц (Franz Kafka) | 10 | http://www.openspace.ru/news/details/15705/ |
| 233. | Кеплер Иоганн (Johannes Kepler) | 10 | http://moscowaleks.narod.ru/galaxy194.html |
| 234. | Кёртис Джон (John Thomas Curtis) | 8 | http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/CURT1913.htm |
| 235. | Кетлэ Ламберт (Lambert- Adolphe-Jacques Quetelet) | 5 | http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/487148/136053/Adolphe-Quetelet-steel-engraving |
| 236. | Кибзун Алла Петровна (Alla P. Kibzoun) | 10 | http://ru-ru.facebook.com/people/Yulia-Baikov/1377028081 |
| 237. | Кирикова Людмила Александровна | 7 | Диск «80 лет кафедре геоботаники и экологии растений СПбГУ (ЛГУ)» |
| 238. | Кирхгоф Густав (Kirchhoff Gustav Robert) | 9 | http://dmcc.com.ua/history/ |
| 239. | Китайгородский Александр Исаакович | 11 | http://www.ineos.ac.ru/lcip/history.html , http://www.koob.ru/kitaygorodskiy/ |
| 240. | Клейбер Макс (Max Kleiber) | 10 | http://animalscience.ucdavis.edu/memorial/kleiber.htm |
| 241. | Клементс Фредерик (Frederic Edward Clements) | 5, 7, 10, 11 | [Трасс, 1976; Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 85], http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/CLEM1874.htm , http://www.history.ucsb.edu/projects/westcampus/clements/bio.htm |
| 242. | Кожов Михаил Михайлович | 3 | Из архива Л.Р. Измestьевой, [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 86], |
| 243. | Кожова Ольга Михайловна | 3 | Из архива Л.Р. Измestьевой |
| 244. | Козлов Михаил (Mikhail V. Kozlov) | 2 | http://vanha.sci.utu.fi/biologia/ekologia/kozlov_eng.htm |
| 245. | Колесов Андрей Юрьевич | 5 | Из архива А.Ю. Колесова |
| 246. | Колесов Юрий Борисович | 3 | [Колесов, Сениченков, 2007], http://www.wlunn.ru/lab/Portals/0/Model_Vision.pdf |
| 247. | Колесов Юрий Серафимович | 5 | Из архива А.Ю. Колесова |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|----------------|---|
| 248. | Колмогоров Андрей Николаевич | 3, 4, 5, 7 | Колмогоров Андрей Николаевич – Викизнание; http://www.amath.ru/index.php?page=text&przd=16&rzd=16&pub_id=42 , http://www.univer.omsk.su/omsk/Edu/Math/kkolmogorov.htm , http://php.mmc.nsu.ru/index3.php?db=museum_lyap2&int=VIEW&el=1252&templ=VIEW |
| 249. | Комаров Александр Сергеевич | 3 | Фото С.В. Саксонова |
| 250. | Коммонер Барри (Barry Commoner) | 1, 4, 7, 10 | [Steiguer, 1997, p. 109], http://popoloconsapevole.ning.com/profiles/blogs/la-mossa-per-spopolare-il |
| 251. | Конвей Джон (John Horton Conway) | 3 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 33], http://www.adeptis.ru/vinci/m_part3_3.html |
| 252. | Кондратьев Кирилл Яковлевич | 3 | http://vd2-777.narod.ru/article6/vehi.htm |
| 253. | Кондратьев Николай Дмитриевич | 3 | http://www.g-news.com.ua/component/option,contentview/go_to,16-12-2009/Itemid99999999/ |
| 254. | Кононов Конон Евсеевич | 4 | http://old.ysu.ru/kafedra/geografiya/index.files/Page346.htm |
| 255. | Кордонский Симон Гдальевич | 9 | http://www.hse.ru/org/persons/139846 |
| 256. | Корчагин Александр Александрович | 8 | http://stav-geo.ru/_1d/0/12_journal_3_2009.pdf |
| 257. | Костанца Роберт (Robert Costanza) | 3, 6 | Костанца Роберт – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/65/65-I.04.html |
| 258. | Костина Наталья Викторовна | Вв | Фото С.В. Саксонова |
| 259. | Костицын Владимир Александрович | 3, 5 | http://www.sai.msu.ru/neb/rw/20years/image007.htm |
| 260. | Котельников Владимир Александрович | 10 | http://elementy.ru/events/428167 |
| 261. | Котляков Владимир Михайлович | 3 | Фото автора |
| 262. | Кох Хельге фон (Niels Fabian Helge von Koch) | 5 | Кох Нильс Фабиан Хельге фон – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-------|--|
| 263. | Кохонен Теуво [Тейво] (Kohonen Teuvo) | 4 | http://www.generation5.org/content/2000/tkohonen.asp , http://www.ieee.org/about/awards/bios/rosenblatt_recipients.html |
| 264. | Крапивин Владимир Федорович | 3, 4 | Фото из архива В.Ф. Крапивина, http://www.cplire.ru/koi/informatics/krapivin_70.html |
| 265. | Кребс Чарльз (Charles J. Krebs) | 5 | http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/ , http://www.amazon.com/Ecological-Methodology-2nd-Charles-Krebs/dp/0321021738 |
| 266. | Крестин Сергей Васильевич | 3, 5 | http://www.fian.smr.ru/personal_page_main.php?id=55&lang=rus |
| 267. | Крик Френсис (Francis Crick) | 10 | http://freebooksfrom.net/wp-content/themes/default/books/science/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography_0684313200/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography%20Vol%202.pdf , http://books.atheism.ru/atheists/crick.html |
| 268. | Криксунов Евгений Аркадьевич | Вв, 3 | Фото автора |
| 269. | Кришнамурти Джидду (англ. Jiddu Krishnamurti) | 10 | http://www.webbl.ru/?action=show_pics&grup=o&id=41&query= |
| 270. | Крогиус Фаина Владимировна | 3 | http://www.kamchatsky-krai.ru/lichnosti/uchenye/uchenye_main.htm |
| 271. | Кроткий Эмиль (Эммануил Яковлевич Герман) | Зак | http://www.zitata.eu/krotkiy.shtml , http://www.fomento.su/enicinfo.php?id=6730 , http://www.persons-info.com/index.php?pid=24489 |
| 272. | Крохин Евгений Михайлович | 3 | http://www.kamchatsky-krai.ru/lichnosti/uchenye/uchenye_main.htm |
| 273. | Крылов Алексей Николаевич | 3 | http://forum.vtrume.ru/lofi/version/index.php/t13110.html |
| 274. | Кузанский Николай (наст. имя – Николай Кребс; Nicolaus Krebs; Nicolaus Cusanus) | 11 | http://anthropology.rchgi.spb.ru/kuzansky/kuzanskiy_neznanie.htm |
| 275. | Кузнецов Иван Васильевич | 7 | [И. Кузнецов, 1975] |
| 276. | Кузнецов Олег Леонидович | 10 | http://www.atoll.su/russian/naukograd.html |
| 277. | Кузнецов Побиск Георгиевич | 10 | http://www.queen.peoples.ru/queen.peoples.ru/science/mathematics/pobisk_kuznetsov/ |
| 278. | Кузнецова Разина Сайтнасимовна | Вв | Фото С.В. Саксонова |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|-----------|--|
| 279. | Кузьмин Виктор Иванович | 10 | http://forum.roerich.info/showthread.php?t=10446 |
| 280. | Кулагин Алексей Юрьевич | 5 | Фото автора |
| 281. | Кулагин Андрей Алексеевич | 5 | Фото автора |
| 282. | Кулагин Юрий Захарович | 1, 5 | [Институт биологии., 2006, с. 12] |
| 283. | Куль Калеви (Kalevi Kull) | 8 | http://www.ut.ee/SOSE/kalevi_kull/eng.html |
| 284. | Кун Томас (Thomas Samuel Kuhn) | 8, 10, 11 | http://lib.cerkov.ru/authors/1074 |
| 285. | Куренков Игорь Иванович | 3 | http://www.kamchatsky-krai.ru/lichnosti/biografii/kurenkov.htm |
| 286. | Кусакин Олег Григорьевич | 11 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 94], http://www.imb.dvo.ru/r_photo.htm |
| 287. | Кутта Мартин (Martin Wilhelm Kutta) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 288. | Кьюлен ван Герман (Herman van Keulen) | 3 | http://www.pps.wur.nl/UK/Staff/Dr.+Ir.+H.+van+Keulen/default.htm , http://www.vpro.nl/programma/madiwodo/afleveringen/7631504/ |
| 289. | Лавренко Евгений Михайлович | 5 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 96], http://repin.chuguev.net/Rubec_1.htm , http://www.help-rus-student.ru/text/41/060.htm , http://www.botsad.ru/p_papers21.htm |
| 290. | Лакатос [Лакатош] Имре (Imre Lakatos [наст. фамилия Lipsitz]) | 11 | http://www.belpokupki.ru/search/?q=%CB%E0%EA%E0%F2%EE%F1 |
| 291. | Лакруа Альфред (Alfred Lacroix) | 10 | http://www.mount-pelee.com/en/pionniers/professeur-alfred-lacroix-1863-1948.html , http://dgv71.free.fr/celebrities.html |
| 292. | Ландау Лев Давидович | 5 | http://www.zateevo.ru/?section=page&action=edit&alias=landau |
| 293. | Лаплас Пьер-Симон (Pierre-Simon Laplace) | 2, 8, 10 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 294. | Лбов Геннадий Сергеевич | 4 | http://old.ict.nsc.ru/win/elbib/hbc/article.phtml?nid=557&id=19 |
| 295. | Ле Шаталье Анри Луи (Henri Louis Le Chatelier) | 10 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2006&ho=9 |
| 296. | Левинс Ричард (Richard Levins) | 5, 7 | http://www.societyforhumanecology.org/Levins%20keynote.html |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|----------------|--|
| 297. | Левич Александр Петрович | 1, 2, 3, 7, 10 | Фото автора, http://rostowskaja.narod.ru/levichphotoalbum.html , http://www.bio.msu.ru/doc/index.php?ID=121 |
| 298. | Левонтин Ричард (Richard [Dick] Charles Lewontin) | 7 | http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/evolution/public/profiles/lewontin.html , http://www.stormfront.org/forum/t499213-11/ |
| 299. | Лежандр Адриен (Adrien-Marie Legendre) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 300. | Лем Станислав (Stanislav Lem) | 4, 10 | http://shkolazhizni.ru/archive/0/n-20251/ |
| 301. | Ленин (Владимир Ильич Ульянов) | 7 | Ленин Владимир Ильич – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki) |
| 302. | Леонардо из Пизы (Leonardo Pisano; Fibonacci) | 5 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 30], http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 303. | Леонов Василий Петрович | 6 | http://www.inf.tsu.ru/Decanat/Staff.nsf/url/LeonovVP |
| 304. | Леонтьев Василий Васильевич (Vasilij Leontiev) | 3, 10 | http://www.sem40.ru/evroplanet/destiny/23857/ , http://www.adeptis.ru/vinci/e_part3_3.html |
| 305. | Лернер Александр Яковлевич | 4 | http://ipu65.narod.ru/Eshe_ob-elite.htm |
| 306. | Лесли Патрик (Patrick H. Leslie) | 5 | Germain Rousseaux. Mathematiques Appliquees a la Biologie. Licence 1 ^{ere} annee SVM COURS/TD. Institut du Non-Lineaire de Nice. [Germain.Rousseaux@inln.cnrs.fr] |
| 307. | Лефевр Владимир Александрович (Vladimir A. Lefebvre) | 8 | http://www.flip.kz/descript?cat=people&id=10839&subsection=386 |
| 308. | Лэфкович Леонард (Leonard P. Lefkovitch) | 5 | Germain Rousseaux. Mathematiques Appliquees a la Biologie. Licence 1 ^{ere} annee SVM COURS/TD. Institut du Non-Lineaire de Nice. [Germain.Rousseaux@inln.cnrs.fr], http://www.legacy.com/can-ottawa/Obituaries.asp?page=LifeStory&PersonID=144183680 |
| 309. | Либих Юстус (Justus von Liebig) | 2, 3, 10 | http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/LIEB1803.htm , http://www.kalitva.ru/historiya/lichnost/page/45/ |
| 310. | Лиэпа Имант Яковлевич (Imants Liepa) | 6 | http://www.lza.lv/scientists/liepai.htm |
| 311. | Линдемман Рой (Raymond [Ray] Laurel Lindeman) | 10 | [Biosfera, 1998] |
| 312. | Линденмейер Аристид (Aristid Lindenmayer) | 5 | http://academic.research.microsoft.com/Author/337838 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|---------------------------|---|
| 313. | Линней Карл (Carolus Linnaeus) | 3, Зак | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 101], http://planeta.rambler.ru/community/astrologica/131409422.html , http://all-biography.ru/alpha/l/linnej-karl-linnaeus-carl , http://www.botsad.ru/p_papers21.htm |
| 314. | Липпмаа Теодор (Theodor M. Lippmaa) | 8, 9 | [Трасс, 1976] |
| 315. | Лифиренко Наталья Геннадьевна | Вв | Фото С.В. Саксонова |
| 316. | Личков Борис Леонидович | 10 | http://g-to-g.com/index.php?version=rus&module=5&id=1343 |
| 317. | Лобачевский Николай Иванович | 7 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 318. | Логофет Дмитрий Олегович | 3, 5, 10 | Фото Э.В. Абросимовой и С.А. Сенатора (ИЭВБ) |
| 319. | Ломоносов Михайло Васильевич | 1 | http://subscribe.ru/archive/culture.people.olmer/200911/21024541.html |
| 320. | Лоренц Конрад (Konrad Zacharias Lorenz) | 10 | http://www.ozon.ru/context/detail/id/288522/ |
| 321. | Лоренц Эдвард (Edward Norton Lorenz) | 5 | http://www.хаос.ru/ |
| 322. | Лори Анри (Henri Laurie) | 5 | http://www.mth.uct.ac.za/Hotseat/Handbook/courses.html |
| 323. | Лотон Джон (John Hartley Lawton) | 7 | http://www.interacademies.net/4017/generalassembly2010/9174/9723/9989.aspx , http://www.rcep.org.uk/about/Members.htm |
| 324. | Лотка Альфред (Alfred James Lotka) | 1, 3, 5, 7, 10, Зак | [Kingsland, 1995, p. 27; Бубенщикова и др., 2010, с. 14], http://elt-preview.host1.elementy.ru/lib/430806?context=20615 http://www.demoscope.ru/weekly/2010/0411/nauka01.php |
| 325. | Лошмидт Иоганн Йозеф (Johann Josef Loschmidt) | 10 | http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/History/Persones/Loschmidt.html |
| 326. | Лукомский Яков Ильич | 2 | [Лебедева, Лурье, 1963, с. 314] |
| 327. | Лысенко Трофим Денисович | 1, 11 | http://www.rodim.ru/conference/lofiversion/index.php/t70725-50.html , http://histpol.pl.ua/pages/content.php?page=2321 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-------------------|--|
| 328. | Любищев Александр Александрович | 1, 2, 6, 11 | http://www.rytc.ru/rutc_analytics_qualific-facility_2010-07-30_lyubischev.htm , http://elementy.ru/events/427573 , Любищев Александр Александрович (www.psychologos.ru), [Усольцев, 2010, с. 142] |
| 329. | Ляпунов Александр Михайлович | 5 | Ляпунов Александр Михайлович – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki) |
| 330. | Ляпунов Алексей Андреевич | 1, 7 | http://mmc1.nsu.ru/museumlyapunov/ , http://mmc1.nsu.ru/lemma/default.aspx?db=museum_lyap_test&int=VIEW&el=3909&templ=FOND_VIEW |
| 331. | Мазалов Владимир Викторович | 5 | Фото автора |
| 332. | Майкельсон Альберт (Albert Abraham Michelson) | 10 | http://www.membrana.ru/articles/readers/2004/04/02/184000.html |
| 333. | Майр Эрнст (Ernst Walter Mayr) | 1 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 103], http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2009&ho=7 , http://elproyectomatrix.wordpress.com/2010/03/22/lamarck-y-la-venganza-del-imperio-iii-la-fe-en-la-seleccion-natural/ |
| 334. | Макаренко Николай Григорьевич | 5 | http://spkurdyumov.narod.ru/Mat100.htm |
| 335. | Мак-Артур Роберт (Robert Helmer MacArthur) | 2, 5, 7, 8, 11 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 104; Kingsland, 1995, p. 184], http://elementy.ru/biography/12 , http://www.nceas.ucsb.edu/~alroy/lefa/MacArthur.html |
| 336. | Макарьева Анастасия Михайловна | 10 | http://www.bioticregulation.ru/contacts_r.php , http://www.bioticregulation.ru/contacts_r.php , http://www.lorealfellowships-russia.org/old/img-2007/2008/Makarjeva.htm |
| 337. | Макгилл Брайан (Brian J. McGill) | 7 | http://www.cef.ulaval.ca/index.php?n=Membres.BrianJMcGill |
| 338. | Макинтош Роберт (Robert Patrick McIntosh) | Вв, 1, 8, Зак | [Final Programm..., 1998, p. 8] |
| 339. | Максвелл Джеймс Клерк [Кларк] (James Clerk Maxwell) | 7, 10 | http://www.samfact.com/fiziki , http://student.km.ru/ref_show_frame.asp?id=E57C6E26425547CD83C4755C62E54FA4 |
| 340. | Максимов Виктор Николаевич | 2, 4, 10 | Фото автора |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|-------------------|--|
| 341. | Малер Густав (Gustav Mahler) | 10 | http://www.kuzbassfm.ru/radio/916/ |
| 342. | Малинецкий Георгий Геннадьевич | 5 | http://pvecherovsky.livejournal.com/41113.html |
| 343. | Малиновский Александр Александрович | 7 | http://www.rgm.ru/old/Malinovskij.htm |
| 344. | Малкина-Пых Ирина Германовна | 2 | Фото из архива И.Г. Малкиной-Пых, http://www.koob.ru/malkina/ , http://www.litres.ru/pages/biblio_authors/?subject=63237 |
| 345. | Мальшев Леонид Иванович | 10 | [Мальшев, 2007], http://www-sbras.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=366&id=14 |
| 346. | Мальтус Томас (Thomas Robert Malthus) | 5, 7 | [Steiguer, 1997, p. 5], http://sjogodni.org.ua/publ/6-2-3 |
| 347. | Мамзин Алексей Сергеевич | 7 | http://www.pushkin-town.net/vestnik/83.html , http://philosophy.pu.ru/userfiles/Mamzin_stat.pdf |
| 348. | Мамихин Сергей Витальевич | 3 | http://soil.msu.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1087&Itemid=322 |
| 349. | Мандельброт Бенуа (Benoit B. Mandelbrot) | 5, 10 | http://www.zaitseva-irina.ru/html/f1095964265.html , http://www.conf.mirea.ru/forum.peoples.ru/science/mathematics/benoit_mandelbrot/ |
| 350. | Мантейфель Борис Петрович | 10 | http://www.vniro.ru/about/history/person/manteifel |
| 351. | Маргалеф Рамон (Margalef [i López] Ramón) | 2, 3, 5, 8, 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 105], http://www.limnetica.com/Limnetica/limne25a/L25a000-Ramon_Margalef.pdf , http://www.icm.csic.es/bio/personal/fpeters/margalef/index.htm |
| 352. | Марков Андрей Андреевич | 11 | http://www.help-rus-student.ru/pictures_fail/46/081_1.htm |
| 353. | Маркс Карл (Karl Heinrich Marx) | 1, 10 | http://www.portalus.ru/modules/economics/print.php?subaction=showfull&id=1102520876&archive=1120044309&start_from=&ucat=1& |
| 354. | Мартынова Муза Владимировна | 8 | http://www.iwp.ru/gruva/mart.html |
| 355. | Маршак Самуил Яковлевич | 5 | Маршак Самуил Яковлевич – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |
| 356. | Мах Эрнст (Ernst Mach) | Зак | http://engine.aviaport.ru/issues/59/page50.html |
| 357. | Медоуз Денис (Dennis L. Meadows) | 3 | [Steiguer, 1997, p. 129], http://en.wikipedia.org/wiki/Portal:Systems_science/Systems_scientist |
| 358. | Медоуз Донелла (Dunellen H. Meadows) | 3 | [Steiguer, 1997, p. 129], http://www.earthlight.org/library.html |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|--------------------------|---|
| 359. | Межжерин Виталий Алексеевич | 7 | http://www.day.kiev.ua/79964 , http://www.zn.ua/img/st_img/2001/332/foto-full-30141-1600.jpg |
| 360. | Менделеев Дмитрий Иванович | 9, 10 | [Усольцев, 2010, с. 122], http://www.peoples.ru/science/chemistry/mendeleev/photo0_1.html |
| 361. | Ментен Май (Maud Leonora Menten) | 1, 5 | http://www.chemheritage.org/discover/chemistry-in-history/themes/biomolecules/proteins-and-sugars/michaelis-and-menten.aspx |
| 362. | Менхайник Эд (Edward Mehnick) | 2 | [Mehnick, 1991] |
| 363. | Меншуткин Владимир Васильевич | 3 | Фото из архива В.В. Меншуткина, [Меншуткин, 2010] |
| 364. | Месарович Михайло (Mihajlo D. Mersarovič) | 3 | http://web.archive.org/web/19960101-re_/http://www.eecs.case.edu/people/mdm5 |
| 365. | Мизес Рихард (Richard Edler von Mises) | 7 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2008&ho=7 |
| 366. | Мили Джордж (George H. Mealy) | 4 | http://www.mtholyoke.edu/courses/dstrahma/cs333/lectures/dscmu12.pdf |
| 367. | Милликэн Роберт (Robert Andrews Millikan) | 10 | http://www.fmclass.ru/phys.php?id=48412973889d0 |
| 368. | Минковский Герман (Hermann Minkowski) | 11 | http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/RaumZeitRaumzeit/ |
| 369. | Мирзоян Эдуард Николаевич | 7 | Армянская энциклопедия фонда «Хайазг» – Мирзоян (http://ru.hayazg.info) |
| 370. | Миркин Борис Михайлович | 1, 2, 7, 8, 9, Зак | Фото автора, [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 113], http://ib.anrb.ru/geobot/staff.htm |
| 371. | Миронова Светлана Ивановна | 2 | Фото автора |
| 372. | Митчерлих Эйльхард (Eilhard Alfred Mitscherlich) | 2, 7 | [Modellierung pflanzlicher..., 2006], http://www.persons-info.com/index.php?pid=29148 |
| 373. | Михалков Сергей Владимирович | 7 | http://www.deti.spb.ru/writers_rus/?a_id=123 |
| 374. | Михаэлис Леонор (Leonor Michaelis) | 1, 5 | http://www.chemheritage.org/discover/chemistry-in-history/themes/biomolecules/proteins-and-sugars/michaelis-and-menten.aspx |
| 375. | Моисеев Никита Николаевич | 3 | [Усольцев, 2010, с. 45], http://www.ecolife.ru/moiseev/necrolog2.shtml |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|---------------------------------|--|
| 376. | Молчанов Альберт Макарьевич | 7 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; презентация «ФМШ [1965-1966]»), http://ia-pusch.mosoblonline.ru/news/432.html |
| 377. | Моно Жак (Jacques Lucien Monod) | 3, 5 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=27708 , http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/3966/%D0%9C%D0%9E%D0%9D%D0%9E |
| 378. | Моровиц Гарольд (Harold J. Morowitz) | 7 | http://www.ctns.org/ssq/biology_bios.html |
| 379. | Морозов Владимир Геннадьевич | 4 | Фото автора |
| 380. | Мостеллер Чарльз (Charles Frederick Mosteller) | 9 | http://www.koob.ru/mosteller_f/ |
| 381. | Мур Эдвард (Edward Forrest Moore) | 4 | http://www.mtholyoke.edu/courses/dstrahma/cs333/lectures/dscmu12.pdf |
| 382. | Мэй Роберт (Robert McCredie, Lord May of Oxford) | 3, 5, 10 | [May, 1986], http://erc.europa.eu/index.cfm?fuseaction=page.display&topicID=84 , http://en.wikipedia.org/wiki/Lord_May |
| 383. | Мэйнард Смит Джон (John Maynard Smith) | 3 | http://www.sussex.ac.uk/press_office/bulletin/22jun01/ , http://www.humanism.org.uk/humanism/humanist-tradition/20century/john-maynard-smith |
| 384. | Мэнгел Марк (Marc Mangel) | 9 | http://qse3.centers.ufl.edu/participants.php |
| 385. | Мюррей Джеймс (James Murray) | 5 | http://www.amath.washington.edu/people/James.Murray/ |
| 386. | Налимов Василий Васильевич | 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, Зак | http://arion.ru/forum/p104430.html , [80 лет кафедре гидробиологии., 2004, с. 137] |
| 387. | Наумов Николай Павлович | 1 | Фото из архива Д.П. Мозгового (СамГУ), http://tvsh2004.narod.ru/hystory4.html |
| 388. | Наумова Лениза Гумеровна | 1, 7, 8 | Фото автора |
| 389. | Недорезов Лев Владимирович | 5 | Фото из архива Л.В. Недорезова |
| 390. | Нейман фон Джон (John von Neumann) | 3, 4 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 391. | Нётер Эмми (Amalie Emmy Noether) | 10 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=31190 , http://www.gzt.ru/topnews/science/-pravotu-fizikov-podtverdili-pronizvshie-zemlyu-/308473.html/images/24636/?from=dopfromsingle |
| 392. | Николсон Александр (Alexander John Nicholson) | 3 | [Kingsland, 1995, p. 118], http://www.asap.unimelb.edu.au/bsparcs/aasmemoirs/nicholso.htm |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-------------------|--|
| 393. | Никольский Георгий Васильевич | 1 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 118], http://elementy.ru/events/429532 , http://www.wsbs-msu.ru/doc/view.php?ID=64 |
| 394. | Ниценко Андрей Александрович | 9 | [Развитие геоботаники..., 2011, с. 16] |
| 395. | Новалис (Georg Friedrich Philipp Freiherr von Hardenberg) | 7 | http://www.log-in.ru/books/author/1372/ |
| 396. | Ной-Меир Эммануил (Immanuel Noy-Meir) | 1, 5 | http://departments.agri.huji.ac.il/plantscience/staff-eng/noymeir.html |
| 397. | Норин Борис Николаевич | 8, 9 | [Катенин, 2001, с. 152] |
| 398. | Норрис Кеннет (Kenneth S. Norris) | 10 | http://www1.ucsc.edu/oncampus/currents/98-99/08-24/norris.htm |
| 399. | Носкова Ольга Леонидовна) | Вв | Фото С.В. Саксонова |
| 400. | Ньютон Исаак (Isaac Newton) | 1, 5, 7, 9, 10 | http://www.hrono.ru/proekty/metafizik/ilin2tayna.html , http://tesla2.ru/isaak-nuton.html , http://www.evangelie.ru/forum/t20311.html , http://www.compuart.ru/Archive/CA/2007/9/10/ |
| 401. | Одум Говард (Howard Thomas Odum) | 1, 10 | Фото автора, http://www.biospherics.org/history.html |
| 402. | Одум Юджин (Eugene Pleasants Odum) | 1, 2, 5, 7-10 | Фото автора, http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/ODUM1913.htm , http://www.ecology.uga.edu/generalInformation.php?Our_Vision-4/ , http://www.biospherics.org/history.html , http://www.georgiaencyclopedia.org/nge/Article.jsp?id=h-720 , http://www.esa.org/history/obits/Odum_EP.pdf http://idbras.comcor.ru/MENAGE/Org-r.html |
| 403. | Озернюк Николай Дмитриевич | 2 | http://idbras.comcor.ru/MENAGE/Org-r.html |
| 404. | Оккам Уильям (William Ockham) | 1, 8, 10 | http://www.liveinternet.ru/users/epindorsal/post63504957/ , http://en.wikipedia.org/wiki/File:William_of_Ockham.png |
| 405. | Окубо Акира (Akira Okubo) | 5 | http://www.somas.stonybrook.edu/make/tof.html |
| 406. | Олли Уард (Warder Clyde Allee) | 5, 10 | Фото из архива П.П. Стрелкова (СПб. ун-т) |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|------|--|
| 407. | Онсагер Ларс (Lars Onsager) | 10 | http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/nobel/1968-Onsager.html |
| 408. | Орлов Александр Иванович | 2, 9 | Викиучебник:Авторы – Викиучебник (http://ru.wikibooks.org/wiki/) |
| 409. | Орнштейн Леонард (Leonard Salomon Ornstein) | 10 | http://en.wikipedia.org/wiki/Leonard_Ornstein |
| 410. | Оруэлл Джордж (George Orwell, наст. имя – Эрик Блэр [Eric Blair]) | Зак | http://www.kinopoisk.ru/level/4/people/80170/ |
| 411. | Остапеня Александр Павлович | 3 | http://nasb.gov.by/rus/members/correspondents/ostapenya.php |
| 412. | Остроумов Сергей Андреевич | 9 | Фото автора |
| 413. | Ошо (Бхагаван Шри Раджниш; Bhagwan Shree Rajneesh, с 1989 г. – Osho) | 10 | http://dokumentalka.ru/2007/11/27/osho_bkhagavan_shri_radzhnish_naslazhdajtes_chtoby_ostavit.html , http://zorba-budda.ru/zen/osho/ |
| 414. | Павийяр Жак (Jacques Pavillard) | 9 | [Трасс, 1976] |
| 415. | Павлов Дмитрий Сергеевич | 2 | Фото автора |
| 416. | Павлов Иван Петрович | 10 | http://www.uran.ru/phc/phc_2004_t.htm , http://www.proshkolu.ru/user/abc0804/file/362123/ |
| 417. | Пайерлс Рудольф (Rudolf Ernst Peierls) | 7 | http://www.bing.com/reference/semhtml/Rudolf_Peierls |
| 418. | Палмгрэн Алвар (Alvar Palmgren) | 5 | http://geobotany.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=650 (11. Структура сообществ-3), http://www.esa.org/history/peopleid.php |
| 419. | Палмер Аллисон (Allison Richard Palmer) | 2 | http://www.123people.ca/s/richard+palmer |
| 420. | Пантелеев Игорь Владимирович | Вв | Фото С.В. Саксонова |
| 421. | Пареле Эгла А. (Elga Parele) | 4, 6 | http://www.lubi.edu.lv/index2.php?lang=2&sid=19&subact=showone&aid=33&pid=882 |
| 422. | Парзен Эмануэль (Emanuel Parzen) | 2 | http://www.stat.tamu.edu/~eparzen/ , http://www.science.tamu.edu/articles/604 |
| 423. | Парр Альберт (Albert Eide Parr) | 10 | http://www.peabody.yale.edu/archives/ypmbios/parr.html |
| 424. | Паск Гордон (Andrew Gordon Speedie Pask) | 4 | http://turnbull.mcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Pask.html |
| 425. | Пастернак Борис Леонидович | 1 | http://literator.ucoz.ru/photo/49-0-691-3 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|--------|--|
| 426. | Паттон Дэвид (David R. Patton) | 5 | http://www.iforest.com/patton.htm |
| 427. | Пачепский Яков Аронович (Yakov A. Pachepsky) | 5 | http://soil.msu.ru/index.php?option=com_content &task=view&id=400&Itemid=192, http://www.123people.com/s/yakov+pachepsky, http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/apr98/frac 0498.pdf |
| 428. | Паш Мориц (Moritz Pasch) | 7 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap. php?ev=2010&ho=9&nap=&month=8&year=2010 &namenev= |
| 429. | Пеано Джузеппе (Giuseppe Peano) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematici ans_gallery.php?Rendition=printerfriendly, http://www.univer.omsk.su/omsk/Edu/Math/ uchitalii.htm, http://www.persons-info.com/index.php?pid=31970, http://www.i-u.ru/biblio/persons.aspx?gid=42 &pid=4 |
| 430. | Пейкала Стив (Steve Pasala) | 3 | http://www.cs.princeton.edu/~dpd/DeanOfFaculty/ Dates.html |
| 431. | Пейперт [Паперт] Сеймур (Seymour Papert) | 3 | http://chernykh.net/content/view/227/240/, http://blogs.guardian.co.uk/technology/category/ education/, http://www.i-u.ru/biblio/persons.aspx?gid=42 &pid=4 |
| 432. | Пейс Майкл (Michael L. Pace) | 3 | http://www.ecostudies.org/people_sci_pace.html |
| 433. | Пери Эдит (Edith Perrier) | 5 | http://www.ird.fr/ur079/perso/perrier/ |
| 434. | Пёрл Раймонд (Raymond Pearl) | 5, Зак | [Kingsland, 1995, p. 57], http://www.nceas.ucsb.edu/~alroy/lefa/Pearl.html |
| 435. | Перрен Жан Батист (Jean Baptiste Perrin) | 10 | http://www.rodin.ru/conference/Iofiversion/index. php/t70725-50.html |
| 436. | Перрон Оскар (Oskar Perron) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematici ans_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 437. | Песенко Юрий Андреевич | 2 | http://molbiol.ru/forums/index.php?showtopic=1880 11&pid=574582&mode=threaded&show=&st= |
| 438. | Пестель Эдуард (Eduard Pestel) | 3 | http://www.pestel-institut.de/ |
| 439. | Петерс Роберт (Robert Henry Peters) | Вв | http://www.iii.to.cnr.it/publicaz/mem55/mem55_ 01.pdf |
| 440. | Пётр Великий (Пётр I, Пётр Алексеевич Романов) | 10 | http://russia-history.ucoz.ru/publ/17 |
| 441. | Петров Кирилл Сергеевич | 3 | http://www.spbu.ru/faces/professors/geograf/ petrov/, http://geo.1september.ru/articlef.php?ID=200701307 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|----------|--|
| 442. | Печуркин Николай Савельевич | 5 | http://www.newslab.ru/blog/283474 |
| 443. | Пикар Жан (Jean-Felix Picard) | 9 | http://meteo.by/calendar/2010-7-21/ |
| 444. | Пилу [Пайлоу] Эвелин (Evelyn Chrystalla Pielou) | 2, 5 | http://angel.library.ubc.ca/cdm4/item_viewer.php?CISOROOT=/ubcnew&CISOPTR=28521&CISOBOX=1&REC=14 |
| 445. | Пирсон Карл (Karl Pearson) | 2, 9 | http://elproyectomatriz.wordpress.com/2010/03/22/lamarck-y-la-venganza-del-imperio-iii-la-fe-en-la-seleccion-natural/ , http://photo.psychotype.ru/person/543/ |
| 446. | Пифагор Регийский (Pythagoras of Rhegion) | 10 | Пифагор Регийский – RuData.ru – Windows Internet Explorer (http://www.rudata.ru/wiki/) |
| 447. | Пифагор Самосский | 2 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematics_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 448. | Планк Макс (Max Karl Ernst Ludwig Planck) | 9, 10 | http://ufoeysk.ucoz.ru/news/2009-05-14-81 , http://www.biografuru.ru/about/plank/?q=3915 |
| 449. | Платон | 3, 7 | Платон – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), http://medem.kiev.ua/page.php?pid=1191 |
| 450. | Плохинский Николай Александрович | 2 | http://www.academgorodok.ru/applications/who/who.php?set=science&cat=53 |
| 451. | Подолинский Сергей Андреевич | 10 | [Усольцев, 2010, с. 38], http://www.i-u.ru/biblio/persons.aspx?gid=42&pid=4 |
| 452. | Полетаев Игорь Андреевич | 3, 5 | http://math.nsc.ru/Archive/disk/page23.html , http://math.nsc.ru/conference/inprim96/polet.htm |
| 453. | Полищук Леонард Владимирович | 10 | http://www.sevin.ru/fundecology/authors/polishchuk.html |
| 454. | Полищук Юрий Михайлович | 3 | Фото из архива Ю.М. Полищука, http://www.ugrasu.ru/news/?y=2008&m=4 , http://www.ipc.tsc.ru/struct/niic.htm |
| 455. | Полуэктов Ратмир Александрович | 3 | Фото из архива Р.А. Полуэктова |
| 456. | Поппер Карл (Karl Raimund Popper) | 1, 7, 11 | http://www.eleven.co.il/article/13283 , http://kazsocium.kz/?m=201003 |
| 457. | Постон Тим (Timothy [Tim] Poston) | 10 | http://www.123people.com/s/tim+poston , http://www.linkedin.com/in/timposton |
| 458. | Престон Фрэнк (Frank W. Preston) | 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 129], http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/PRES1896.htm , http://en.wikipedia.org/wiki/Frank_W._Preston |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|--------------------|--|
| 459. | Пригожин Илья [Романович] (Ilya R. Prigogine) | 1, 5, 10 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 22], http://nonlin.ru/node/23 , http://www.flip.kz/catalog?prod=10210 |
| 460. | Пуанкаре Анри (Jules-Henri Poincaré) | 5, 7, Зак | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly , http://www.i-u.ru/biblio/persons.aspx?gid=42&pid=4 |
| 461. | Пуассон Симеон-Дени (Siméon-Denis Poisson) | 2, 5, 9 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 462. | Пузаченко Юрий Георгиевич | 5 | Фото Э.В. Абросимовой (ИЭВБ РАН) |
| 463. | Пых Юрий Александрович | Вв, 2, 5, 7, 10 | Фото автора и из архива Ю.А. Пыха. |
| 464. | Работнов Тихон Александрович | 1, 5, 8 | Фото из архива Т.А. Работнова |
| 465. | Разумовский Олег Сергеевич | 3 | http://www.chronos.msu.ru/biographies/razumovsky.htm |
| 466. | Раменский Леонтий Григорьевич | 2, 8-11 | [Трасс, 1976; Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 132], http://www.botsad.ru/p_papers21.htm |
| 467. | Растринг Леонард Андреевич | 8 | http://geneticargonaut.blogspot.com/2007/12/leonard-rastrigin.html |
| 468. | Ратнер Вадим Александрович | 7 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; презентация «ФМШ [1965-1966]») |
| 469. | Рашевски Николас (Nicolas Rashevsky) | 5, 7, 9 10 | http://www.absoluteastronomy.com/topics/Nicolas_Rashevsky , http://eecs.oregonstate.edu/research/members/cull/PUBLISHED-BIO2651.pdf |
| 470. | Реди Франческо (Francesco Redi) | 10 | http://elt-preview.host1.elementy.ru/trefil/21206 |
| 471. | Резник Митчелл (Mitchel Resnick) | 3 | http://en.wikipedia.org/wiki/Mitchel_resnick , http://www.edutopia.org/kindergarten-creativity-collaboration-lifelong-learning |
| 472. | Реймерс Николай Федорович | 2, 7, 11 | Фото из архива А.В. Каверина (МордовГУ), http://oopt.info/history/59.html |
| 473. | Ремер Оле (Ole Christensen Rømer) | 9 | http://en.wikipedia.org/wiki/Ole_Romer |
| 474. | Рентген [Рёнтен] Вильгельм Конрад (Wilhelm Conrad Roentgen) | 10 | http://www.tonnel.ru/?l=gzl&uid=380 |
| 475. | Реншоу Эрик (Eric Renshaw) | Зак | http://www.123people.co.uk/s/eric+renshaw |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|--------------|---|
| 476. | Реньи Альфред (Alfred Rényi) | 2, 5, Зак | http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Quotations/2/330.html , http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2010&ho=2 , http://www.sulinet.hu/termesztvilaga/archiv/2001/0105/27.html |
| 477. | Реомюр Рене (René Antoine de Réaumur) | 9 | http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/REAU1683.htm , http://sjogodni.org.ua/publ/6-2-3 |
| 478. | Реттиева Анна Николаевна | 5 | http://mathem.krc.karelia.ru/structure.php?plang=r&id=P7#trends |
| 479. | Рид Ловелл (Lowell J. Reed) | 5 | http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,822910,00.html |
| 480. | Ризниченко Галина Юрьевна | 1, 3, 7 | http://nonlin.ru/node/103 |
| 481. | Рикер Уильям (William E. Ricker) | 5, 10 | [Beamish et al, 2003, p. III], http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/rp/rppdf/f03-900.pdf |
| 482. | Риклефс Роберт (Robert E. Ricklefs) | 1 | http://www.nrm.se/en/menu/researchandcollections/research/symposiumdarwinsevolution/roberte_ricklefs.9201.html |
| 483. | Риман Бернхард (Bernhard Georg Friedrich Riemann) | 7 | http://mathblogger.free.fr/index.php?d=20&m=07&y=00 |
| 484. | Робок Алан (Alan Robock) | 3 | http://earthblips.dailyradar.com/environment/2009/8/11/ , http://www.project-syndicate.org/contributor/1785 http://www.duke.edu/~alexrose/ |
| 485. | Розенберг Александр (Alexander [Alex] Rosenberg) | 9 | |
| 486. | Розенблатт Фрэнк (Frank Rosenblatt) | 4 | http://www.ieee.org/about/awards/bios/rosenblatt_recipients.html , http://neurones.ru/ |
| 487. | Розенцвейг Майкл (Michael L. Rosenzweig) | 5 | http://sols.asu.edu/frontiers/2009/speakers.php |
| 488. | Росс Юхан (Juhan Ross) | 10 | http://ross.en.gloer.com/ |
| 489. | Рубин Андрей Борисович | 1, 3 | Фото автора, http://nonlin.ru/node/1452 |
| 490. | Рубнер Макс (Max Rubner) | 10 | http://www.biology.ru/course/content/scientist/rubner.html , http://www.answers.com/topic/max-rubner |
| 491. | Рудерман Семён Юрьевич | 5 | http://vuzunet.ru/_bd/0/59198.jpg |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|-------------------|---|
| 492. | Рулье Карл Францевич | 1 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 137], http://www.arran.ru/index.php?page=exposition/exposition7_1_2&ARFOND=43267538b74867af9b2413f9b6889811 , http://www.bg-znanie.ru/rubrics.php?r_id=2315 http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 493. | Рунге Карл (Carl David Tolmé Runge) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 494. | Рэдфилд Альфред (Alfred Clarence Redfield) | 10 | http://www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Redfield.pdf |
| 495. | Рюбель Эдуард (Eduard August Rübel) | 7 | [Трасс, 1976; Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 138], http://biogeografers.dvo.ru/pages/0219.htm , http://www.library.ethz.ch/aktuell/galerie/ruebel/index.html |
| 496. | Рюэль Давид (David Pierre Ruelle) | 5 | http://www.ihes.fr/jsp/site/plugins/document/SendDocument.jsp?document_id=400 , http://en.wikipedia.org/wiki/David_Ruelle |
| 497. | Рябинина Зинаида Николаевна | 1 | Фото автора |
| 498. | Саати Томас (Thomas L. Saaty) | 7 | http://www.softkey.info/reviews/review483.php , http://www.labrate.ru/discus/messages/595/2618.html |
| 499. | Савельев Анатолий Александрович | 2, 8 | Фото из архива А.А. Савельева |
| 500. | Савченко Владимир Иванович | 3 | http://sf.convex.ru/star/photo/2002/sta/photo2.htm , http://fan.lib.ru/s/sawchenko_w_i/ , http://www.phantastike.ru/savchenko/ |
| 501. | Сайенсман Дэвид (David M. Scienceman) | 10 | http://en.wikipedia.org/wiki/David_M._Scienceman , http://uk.ask.com/wiki/David_M._Scienceman |
| 502. | Саймон Герберт (Herbert Alexander Simon) | 4 | Саймон Герберт – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) http://www.nobeliat.ru/countryall.php?country=%D1%D8%C0 , http://en.wikipedia.org/wiki/Portal:Systems_science/Systems_scientist |
| 503. | Саксонов Сергей Владимирович | Зак | Фото автора |
| 504. | Саранча Дмитрий Александрович | 3 | http://nonlin.ru/node/1334 |
| 505. | Саркисян Сергей Арамович | 3 | http://www.eraz.ru/expo/pavilion1/mai505/ , http://www.mai.ru/common/history/honor_gallery.php?PAGEN_1=3 |
| 506. | Свирижев Юрий Михайлович | 3, 5, 7, 8, 10 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; Свирижев\pictures) |
| 507. | Северцов Алексей Сергеевич | 7 | Фото автора |
| 508. | Северцов Сергей Алексеевич | 5 | [Северцов, 1951] |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|------|--|
| 509. | Селютин Виктор Владимирович | 3 | Фото из архива В.В. Селютина, http://mmedia0.cc.rsu.ru/pls/rsu/rsu\$persons\$.startup?p_per_id=1448 |
| 510. | Сёмкин Борис Иванович | 8 | http://student.psue.ru/index.php |
| 511. | Сениченков Юрий Борисович | 3 | http://www.wl.unn.ru/lab/Portals/0/Model_Vision.pdf , http://www.ftk.spbstu.ru/structure/departments/rvks/ |
| 512. | Сердюцкая Людмила Федоровна | 3 | http://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=79638 |
| 513. | Серпинский Вацлав (Wacław Sierpiński) | 5 | http://db.chgk.info/files/ppp4.1-a.html |
| 514. | Сеченов Иван Михайлович | 1 | http://www.magmag.ru/product.php?id=2748 , http://www.rulex.ru/rpg/portraits/26/26767.htm |
| 515. | Сёрон Лоран (Laurent Seuront) | 5 | [Seuront, 2010, p. XV], http://www.misa.net.au/left_navs/ecosystem_services/staff/laurent_seuront , http://www.scieng.flinders.edu.au/current/biology/msl/mswebsite_ppl_current.htm |
| 516. | Сидорин Александр Петрович | 10 | Фото из архива Е.А. Криксунова |
| 517. | Симберлоф Даниэль (Daniel Simberloff) | 5 | http://notes.utk.edu/bio/unistudy.nsf/9eab68a4f27cc7dd85256e3600733574/194db6c8760a68a085256fc4005e0af7?OpenDocument , http://www.pbs.org/wgbh/evolution/extinction/massext/statement_03.html |
| 518. | Слуцкий Евгений Евгеньевич | 2 | http://news.yandex.ru/people/slutskiy_evgenij.html |
| 519. | Смэтс Ян (Jan Christiaan Smuts) | 1 | http://en.wikipedia.org/wiki/Smuts |
| 520. | Снедекор Джордж (George Waddel Snedecor) | 2 | http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/683703 |
| 521. | Соколов Владимир Евгеньевич | 1 | http://www.sevin.ru/news/16.html |
| 522. | Сократ | 7 | Сократ – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |
| 523. | Сорокин Павел Александрович | 3 | Фото из архива П.А. Сорокина |
| 524. | Сочава Виктор Борисович | 3, 9 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 148], http://www.soran1957.ru/?p=auto&id=p0012627&ch=vitem , http://www.botsad.ru/p_papers21.htm |
| 525. | Спенсер Герберт (Herbert Spenser) | 7 | http://aforizm-book.ru/archives/category/nrav/page/3 , http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Herbert_Spenser |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|---------|---|
| 526. | Спирмен Чарльз (Charles Edward Spearman) | 9 | http://psyberia.ru/data/1709 |
| 527. | Станчинский Владимир Владимирович | 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 148], http://biogeografers.dvo.ru/pages/0235.htm , http://www.persons-info.com/index.php?pid=11585 |
| 528. | Старостин Борис Александрович | 7 | Фото автора, http://russidea.rchgi.spb.ru/authors/index.php?ELEMENT_ID=3620 |
| 529. | Старфилд Энтони (Anthony M. Starfield) | 3 | http://www.cbs.umn.edu/eeb/faculty/StarfieldAnthony/ |
| 530. | Стейнхардт Пол (Paul Steinhardt) | 10 | http://dcmp.bc.edu/page.php?name=Steinhardt , http://media.radiosai.org/Journals/Vol_06/01APR08/04-musings.htm |
| 531. | Стенчиков Георгий Львович | 3 | http://envsci.rutgers.edu/~gera/ |
| 532. | Стивенс Стэнли (Stanley Smith Stevens) | 9 | http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=570&page=424 , http://www.persons-info.com/index.php?pid=11736 , https://www.hse.ru/data/2010/02/03/1229660753/22_Sensornye_sistemy.pps |
| 533. | Стилтьес Томас (Thomas Johannes Stieltjes) | 5 | http://www.univer.omsk.su/omsk/Edu/Math/matan.htm |
| 534. | Стокмайер Вальтер (Walter Hugo Stockmayer) | 5 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 44] |
| 535. | Страшкраба Милан (Milan Straškraba) | 3 | http://protisk.prf.jcu.cz/ |
| 536. | Стриганова Белла Рафаиловна | 1 | Фото автора |
| 537. | Стробек Куртис (Curtis Strobeck) | 2 | http://www.biology.ualberta.ca/faculty/curtis_strobeck/ |
| 538. | Стюарт Иэн (Ian Nicholas Stewart) | 10 | http://www.desdelexilio.com/2009/12/01/del-orden-al-caos-entrevista-a-ian-stewart/ |
| 539. | Сукачѳв Владимир Николаевич | 1, 7, 9 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 148], http://www.ras.ru/win/db/show_per.asp?P=id-52299.ln-ru , http://ru.wikipedia.org/wiki/Sukaczev , http://www.persons-info.com/index.php?pid=11827 |
| 540. | Сурков Федор Алексеевич | 3 | Фото из архива Ф.А. Суркова, http://www.srcu.ru/about/persons/rsu/surkov.htm |
| 541. | Сушня Леонид Михайлович | 3 | Фото автора, http://www.agnc.ru/index.php?id=1958&t=2 |
| 542. | Съѳренсен Торвальд (Thorvald Julius Sørensen) | 2 | [Трасс, 1976] |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|------|--|
| 543. | Такенс [Тейкенс] Флор (Floris Takens) | 5 | http://www.madrimasd.org/blogs/matematicas/2010/07/04/131944 |
| 544. | Тарко Александр Михайлович | 3 | [Усольцев, 2010, с. 45], http://www.cs.ru/tarko/index_r.htm |
| 545. | Тарский Альфред | 7 | http://www.teor-meh.ru/bio/st/tarskij_alfred.html |
| 546. | Татаринов Леонид Петрович | 7 | [Татаринов, 1987], http://d-pankratov.ru/category/12-noyabrya-ns/ |
| 547. | Тейл Генри (Henri Theil) | 4, 6 | http://www.hope.edu/resources/arc/collections/registers/hope/theil.html |
| 548. | Тейлор Брук (Brook Taylor) | 10 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 549. | Терентьев Павел Викторович | 2 | [Гаранин, 1997, с. 4] |
| 550. | Тёркингтон Рой (Roy Turkington) | 5 | http://www.botany.ubc.ca/turkington/photos.html |
| 551. | Терна Пьетро (Pietro Terna) | 3 | http://picasaweb.google.com/pietro.terna/Chicago111452008SwarmFest#5200077277012004066 , http://picasaweb.google.com/pietro.terna/ABMBaF0981122009# |
| 552. | Тильман Дэвид (G. David Tilman) | 1 | http://www.cbs.umn.edu/eeb/faculty/TilmanDavid/ , http://oregonstate.edu/dept/ncs/photos/tilman.jpg |
| 553. | Тимирязев Климент Аркадьевич | 10 | http://segodnya.deltabeta.am/?date=3-6 |
| 554. | Тихонов Андрей Николаевич | 4 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 555. | Толстова Юлиана Николаевна | 9 | http://www.hse.ru/org/persons/63743 |
| 556. | Том Рене Фредерик (René Frédéric Thom) | 10 | Том Рене – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), http://www.math.ru/history/people/thom |
| 557. | Томпсон Пол (Ronald Paul Thompson) | 7 | http://philosophy.utoronto.ca/people/faculty/members-of-other-departments-appointed-to-the-graduate-faculty/paul-thompson , http://www.scienceadvice.ca/en/assessments/completed/biodiversity/expert-panel/thompson.aspx |
| 558. | Томсон Уильям, лорд Кельвин (William Thomson, 1 st Baron Kelvin) | 9 | http://forum.shadrinsk.net/viewtopic.php?p=677973 |
| 559. | Тооминг Хейно Густавович | 10 | http://www.aai.ee/~pelt/Museum/Motle/HTML/index.html?vaimsusloodusjaskond.htm , http://www.aai.ee/atm/h_tooming.html |
| 560. | Трапезников Валентин Кузьмич | 7 | Фото автора |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|------------------------|---|
| 561. | Турчин Петр Валентинович (Peter V. Turchin) | 1, 5, 7 | http://cliodynamics.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=168&Itemid=43 |
| 562. | Тутубалин Валерий Николаевич | 5, Зак | http://grebennikon.ru/article-1cdu.html |
| 563. | Тьюки Джон (John W. Tukey) | 9 | http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1298842 |
| 564. | Тэннер Джеймс (James T. Tanner) | 5 | http://www.fws.gov/ivorybill/photoalbum/pages/047_jpg.htm |
| 565. | Тэнсли Артур (Arthur George Tansley) | 1, 7, 10 | [Трасс, 1976; Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 157], http://www.botsad.ru/p_papers21.htm |
| 566. | Тютюнов Юрий Викторович | 5 | http://mmedia0.cc.rsu.ru/pls/rsu\$persons\$.startup?p_per_id=549 , http://www.math.sfedu.ru/niimp/ommee/tyutyun/CV_Tyutyunov_ru.html |
| 567. | Уатт Кеннет (Kenneth E.F. Watt) | 5 | http://www.zoominfo.com/search#search/profile/person?personId=72754046&targetid=profile |
| 568. | Уёмов Авенир Иванович | 8 | http://www.mecenat-and-world.ru/avtors/uemov.htm , http://www.bg-znanie.ru/rubrics.php?r_id=1841 , http://scienceleaders.net.ua/article/a-112.html |
| 569. | Уивер Джон (John Ernst Weaver) | 5 | http://www.botany.org/awards_grants/detail/bsamerit.php |
| 570. | Уивер Уарен (Warren Weaver) | 2 | http://www.umass.edu/wsp/sinology/persons/reifler.html , http://paulingblog.wordpress.com/2008/12/09/pauling-and-the-rockefeller-foundation/ , http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/PictDisplay/Weaver.html |
| 571. | Уилсон Эдвард (Edward Osborne Wilson) | 7, 8 | http://faae.org.co/colombiabiodiversa/catedra.html , http://www.kff.com/AR01/KFIP/1420H2000G/KFIPWinners5SCI1420H2000G.html |
| 572. | Уиттекер Роберт (Robert Harding Whittaker) | 1, 2, 4, 5, 7-10 | [Трасс, 1976; Westman, Peet, 1982, p. 97], http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Whittaker |
| 573. | Улам Станислав (Stanislaw Ulam) | 3 | http://www.koob.ru/ulam_stanislaw/ |
| 574. | Уланович Роберт (Robert Edward Ulanowicz) | 1 | http://www.cbl.umces.edu/~ulan/ |
| 575. | Уленбек Джордж (George Eugene Uhlenbeck) | 10 | http://www.todayin的角度.com/10/10_31.htm |
| 576. | Умнов Альберт Александрович | 8 | [Гиляров, 2005, с. 59], http://www.zin.ru/labs/freshwater/umnov.htm |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|--------------|---|
| 577. | Умов Николай Алексеевич | 10 | [Усолицев, 2010, с. 30], http://www.persons-info.com/index.php?pid=12952 |
| 578. | Уоддингтон Конрад (Conrad Hal Waddington) | 7 | http://www.persons-info.com/index.php?id=167 &lang=ru&p=20&abc=%D0%A3&ntype=340 |
| 579. | Уолкер Брайан (Brian H. Walker) | 3 | http://www.peopleandplace.net/featured_voices/ 2008/11/24/resilience_thinking, http://www.beijer.kva.se/PDF/8274112_Beijerinst_ AR_09-10_webb.pdf |
| 580. | Уоллес Альфред (Alfred Russel Wallece) | 5 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 160], http://bio.1september.ru/articles/2008/22/04, http://slavs.org.ua/wallace-vactination |
| 581. | Уорд Джо (Joe H. Ward Jr.) | 2 | http://www.codap.com/JoeWard/wardresume.html |
| 582. | Уотсон [Ватсон] Джофрей (Geoffrey Stuart Watson) | 2 | http://www.123people.com/s/geoffrey+watson |
| 583. | Уотсон [Ватсон] Хьюит (Hewett Cottrell Watson) | 2, 5 | http://www.pronto.com/product/hewett-cottrell-wat son-victorian-plant-p_1690581059, http://en.wikipedia.org/wiki/Hewett_Watson |
| 584. | Уранов Алексей Александрович | 5 | Фото из архива А.К. Сытина (БИН РАН) |
| 585. | Урманцев Юнир Абдуллоевич | 1, 10, 11 | http://raen-noos.narod.ru/pers_urmancev.htm, http://nonlin.ru/node/1162 |
| 586. | Усманов Искандер Юсуфович | 2, 5 | Фото автора |
| 587. | Ухманьский Януш (Janusz Uchmanski) | 3 | Фото автора |
| 588. | Фарадей Майкл (Michael Faraday) | 8, 10 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/ honap.php?ev=2006&ho=9 |
| 589. | Фаренгейт Габриель (Gabriel Daniel Fahrenheit) | 9 | http://sjogodni.org.ua/publ/10-2-3, http://forum.shadrinsk.net/viewtopic.php?t=28318& start=210&postdays=0&postorder=asc&highlight =&sid=e880f90a40686131e6cec4615fb98f98 |
| 590. | Фассó Алессандро (Alessandro Fassò) | 3 | http://www.unibg.it/struttura/en_struttura.asp? rubrica=1&persona=1181&nome=Alessandro& cognome=Fasso |
| 591. | Фат Брайан (Brian D. Fath) | 1 | http://pages.towson.edu/bfath/ |
| 592. | Фату Пьер (Pierre Joseph Louis Fatou) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematici ans_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 593. | Федер Енс (Jens Feder) | 5 | http://folk.uio.no/feder/, http://fysikk.hfk.vgs.no/images/3fyeks/017_14A.JPG |
| 594. | Фёдоров Вадим Дмитриевич | 1, 10 | Фото автора и И.М. Долотовского |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|---------------|---|
| 595. | Фейгенбаум Митчелл (Mitchell Jay Feigenbaum) | 5, 10 | http://ega-math.narod.ru/Reid/Pais.htm , http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/PictDisplay/Feigenbaum.html , [Бубенщикова и др., 2010, с. 30] |
| 596. | Фейнман Ричард (Richard Phillips Feynman) | 7 | http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/ |
| 597. | Феллер Вильям [Уильям] (William Feller) | 10 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=37915 , http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/egyen.php?namenev=feller&nev5=Feller,+William |
| 598. | Ферхюльст Пьер (Pierre-Francois Verhulst) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly , [Бубенщикова и др., 2010, с. 9] |
| 599. | Фехнер Густав Теодор (Gustav Theodor Fechner) | 10 | https://www.hse.ru/data/2010/02/03/1229660753/22_Sensornye_sistemy.pps |
| 600. | Фишер Рональд (Ronald Aylmer Fisher) | 2, 4 | [Марков, 2010, с. 22], http://www.ines-ur.ru/node/563 , http://gabrielhancean.wordpress.com/2009/07/04/a-few-words-about-ronald-aylmer-fisher/fisher/ , http://elproyectomatriz.wordpress.com/2010/03/22/lamarck-y-la-venganza-del-imperio-iii-la-fe-en-la-seleccion-natural/ |
| 601. | Флейшман Бенцион Семёнович (Ben Fleishman) | 1, 5, 7-10 | Фото автора, http://vybor-za-vami.narod.ru/ |
| 602. | Флори Поль (Paul John Flory) | 5 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 44], http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1974/flory-lecture.html |
| 603. | Фогель Лоренсе (Lawrence Jerome Fogel) | 4 | [Burgin, 2007], http://www.ieee.org/about/awards/bios/rosenblatt_recipients.html , http://www.asc-cybernetics.org/foundations/Fogel.htm |
| 604. | Фок Владимир Александрович | 9 | http://web.ict.nsc.ru/~bar/math_hist/index.php?menu=1&id=644 , http://www.ioffe.ru/trade_union/Photos/physfac67/professors/professors.html |
| 605. | Фоменко Анатолий Тимофеевич | 9 | http://podarok.wiw-rf.ru/members/member_3353.html , http://intsys.msu.ru/news/announces/archive.htm |
| 606. | Форрестер Джей (Jay Wright Forrester) | 1, 3, 10 | [Steiguer, 1997, p. 129], http://www.thocp.net/biographies/forrester_jay.html , http://www.lib.uwo.ca/programs/generalbusiness/laureates.html |
| 607. | Френель Огюстен Жан (Augustin-Jean Fresnel) | 9 | http://www.citycat.ru/historycentre/index.cgi?iday=14&imon=07&last.lang=ru |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|----------|--|
| 608. | Фрисман Ефим Яковлевич | 5 | Фото автора |
| 609. | Фробениус Фердинанд (Ferdinand Georg Frobenius) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 610. | Фуллер Ричард Бакминстер (Richard Buckminster Fuller) | 5 | Фуллер Ричард Бакминстер – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), |
| 611. | Фурсова Полина Викторовна | 1 | http://www.biophys.msu.ru/science/complex_systems/person933/ |
| 612. | Фурье Жозеф (Jean-Baptiste- Joseph Fourier) | 2, 7 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 613. | Хаббел Стивен (Steven Hubbell) | 1, 7 | http://www.esa.org/history/Awards/bulletin/eminent2009.pdf |
| 614. | Хакансон Ларс (Lars Håkanson) | 3 | http://www.geo.uu.se/luva/personal.aspx?Namn=lars.hakanson&lan=1 , http://www.bth.se/ing/ing-web09_eng.nsf/pages/research |
| 615. | Хакен Герман (Hermann Haken) | 5 | http://itp1.uni-stuttgart.de/en/arbeitsgruppen/?W=5 , http://www.center-for-synergetics.de/ |
| 616. | Хаммерсли Джон (John Michael Hammersley) | 5 | [Бубенщикова и др., 2010, с. 44], http://www.statslab.cam.ac.uk/~grg/papers/jmh_biom.pdf |
| 617. | Харви Брайан (Brian Harvey) | 3 | http://www.cs.berkeley.edu/~bh/ |
| 618. | Хармс Даниил (Ювачёв Даниил Иванович) | 10, Зак | http://www.vprazdnik.ru/names/0/0/56/ , http://dkharms.narod.ru/articles/gallery/gallery.htm |
| 619. | Харпер Джон (John L. Harper) | 5 | http://en.wikipedia.org/wiki/John_L._Harper |
| 620. | Хатчинсон Джордж (George Evelyn Hutchinson) | 5, 8, 10 | [Kingsland, 1995, p. 177], http://elementy.ru/news/430675 |
| 621. | Хаусдорф Феликс (Felix Hausdorf) | 5 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly |
| 622. | Хеджпет Джоел (Joel Walker Hedgpeth) | 3 | http://sciencedude.ocregister.com/2006/08/16/between-tides/1004/ |
| 623. | Хёлберт Стюарт (Stuart H. Hurlbert) | 2, Зак | http://www.capsweb.org/content.php?id=5&menu_id=3&menu_item_id=14 |
| 624. | Хёрст Гарольд (Harold Edwin Hurst) | 5, Зак | http://www.mi.imati.cnr.it/conferences/brani04/Lec3.pdf |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|------|---|
| 625. | Хилборн Рей (Ray William Hilborn) | 9 | Ray Hilborn – Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_Hilborn], http://www.abdn.ac.uk/mediareleases/release.php?id=1745 , http://www.fish.washington.edu/research/alaska/people.html , http://depts.washington.edu/poeweb/news/foodseries.html |
| 626. | Хлебников Велимир [Виктор Владимирович] | 10 | http://www.tvkultura.ru/program.html?date=09.11.2004&zone=1002 |
| 627. | Хлебопрос Рем Григорьевич | 7 | http://www.gazetastroi.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=502&Itemid=13 , http://gazeta.sfu-kras.ru/node/1919 |
| 628. | Холланд Джон Генри (John Henry Holland) | 4 | http://it.siteua.org/%D0%98%D0%A2-%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%9743/2_%D1%84%D0%B5%D0%B2%D1%B8/%80%D0%B0%D0%BB%D1%8F_%D0%B2_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8_%D0%B8_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8 |
| 629. | Холлинг Крауфорд (Crawford Stanley [Buzz] Holling) | 5 | http://en.wikipedia.org/wiki/C.S._Holling |
| 630. | Холодковский Николай Александрович | 1 | http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/698258 |
| 631. | Холодный Николай Григорьевич | 10 | [Усольцев, 2010, с. 147], http://vnp.int.ru/index.php?name=Biography&op=page&pid=651 |
| 632. | Холт Сидней (Sidney J. Holt) | 5 | [Beverton, 2002, p. 132] |
| 633. | Хопфилд Джон (John Joseph Hopfield) | 4 | http://www.scholarpedia.org/article/User:Hopfield , http://genomics.princeton.edu/hopfield/ |
| 634. | Хэмминг Ричард (Richard Wesley Hamming) | 2, 4 | http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/honap.php?ev=2010&ho=2 |
| 635. | Хэссел Михаэль (Michael Hassell) | 5 | http://www.bio.ic.ac.uk/research/mphsil/ |
| 636. | Цельсий Андерс (Anders Celsius) | 9 | http://www.runivers.ru/Runivers/calendar2.php?ID=494892&month=&year= |
| 637. | Цетлин Михаил Львович | 10 | http://inf.1september.ru/2006/12/41.htm |
| 638. | Циолковский Константин Эдуардович | 11 | [Усольцев, 2010, с. 108], http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1015641 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|-------|--|
| 639. | Ципф [Зипф] Джордж (George Kingsley Zipf) | 2 | http://www.webground.su/services.php?param=book &part=chapter%206_1_2.htm , http://www.money-vsem.com/page/22/ |
| 640. | Цобель Кристиан (Kristjan R. Zobel) | 8 | http://www.botany.ut.ee/kristjan.zobel/ |
| 641. | Цобель Мартин (Martin Zobel) | 8 | http://www.botany.ut.ee/martin.zobel/index.html , http://arhiiv2.postimees.ee:8080/leht/00/02/25/uudi sed.shtm |
| 642. | Цыпкин Яков Залманович | 4 | http://www.ipu.ru/s_001/s_001_003_058_00000000 000.htm , http://www.ipu.ru/grand/tz.htm |
| 643. | Чайковский Юрий Викторович | 7 | [Чайковский, 2010, с. 716; Усольцев, 2010, с. 209], Чайковский Юрий Викторович – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/), http://www.goldentime.ru/hrs_text_017.htm |
| 644. | Чебураева Анна Николаевна | 5 | Фото из архива А.Н. Чебураевой |
| 645. | Чепмен Дуглас (Douglas George Charman) | 5 | http://www.todayinsci.com/3/3_20.htm |
| 646. | Чепмен Роял (Royal Norton Charman) | 5 | [Carter, 1940, p. 255; Graham, 1941, p. 521], http://www.ingentaconnect.com/content/esa/aesa/ 1941/00000034/00000003/art00001 |
| 647. | Червоненкис Алексей Яковлевич | 4 | http://www.ipu.ru/s_001/s_001_003_009_00000000 000.htm |
| 648. | Черкашин Александр Константинович | 7 | http://www.ar-video.xost.ru/Olhon3.htm , http://www.irigs.irk.ru/index-2.html |
| 649. | Чертов Олег Георгиевич | 3 | Фото из архива А.С. Комарова |
| 650. | Чертопруд Михаил Витальевич | 5 | http://hydro.bio.msu.ru/Personal/Chertm.htm |
| 651. | Чесноков Сергей Валерианович | 2 | Чесноков Сергей Валерианович – Википедия (http://ru.wikipedia.org/wiki/) |
| 652. | Четаев Николай Гурьевич | 1 | http://chetaev.msu.ru/ |
| 653. | Четвериков Сергей Сергеевич | 5 | http://psychlib.ru/otherdocs/psychogenetic/biograf 83.html |
| 654. | Читти Денис (Dennis Hubert Chitty) | 5 | http://www.rsc.ca/documents/ChittyDennisHubert Electedin196919122010.pdf , http://www.science.ca/scientists/scientistprofile.php? pid=137 |
| 655. | Шапино Александр Павлович | 5, 10 | Материалы вечера воспоминаний (Пушино, 2009; презентация «ФМШ [1965-1966]») |
| 656. | Шафаревич Игорь Ростиславович | Зак | http://shafarevich.voskres.ru/new5.htm |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---|-----------------|--|
| 657. | Шашкин Александр Владимирович | 3 | http://www.prometeus.nsc.ru/science/sibvar/060701/ |
| 658. | Шварц Станислав Семенович | 5 | http://www.persons-info.com/index.php?pid=16664 |
| 659. | Шелфорд Виктор (Victor Ernest Shelford) | 2, 7, 10 | [Кафанов, Кудряшов, 2007, с. 174], http://www.nceas.ucsb.edu/~alroy/lefa/Shelford.html , http://www.todayinsci.com/9/9_22.htm |
| 660. | Шёнберг Исаак (Isaac Jacob Schoenberg) | 2 | http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/944286 , http://www.math.auckland.ac.nz/hat/isopic.jpg |
| 661. | Шенников Александр Петрович | 9 | [Трасс, 1976; Василевич, Юрковская, 2007], http://vologda-oblast.ru/persones.asp?LNG=RUS&CODE=813&CPage=44&V=0&PS=0&T=&W=&F= |
| 662. | Шеннон Клод (Claude Elwood Shannon) | 1, 2, 4-6, 8-10 | http://cbskiev.library.ru/expositions/theory.php , http://schools.keldysh.ru/sch444/museum/1_17_117.htm , http://www.intuit.ru/department/history/ithistory/7/3.html , http://www.adeptis.ru/vinci/m_part5.html |
| 663. | Шеннон Роберт (Robert E. Shannon) | 3, 6 | http://ise.tamu.edu/people/faculty/Shannon/default.htm |
| 664. | Шимборска (Шимборская) Вислава (Wisława Szymborska) | 10 | http://www.nobeliat.ru/laureat.php?id=93&p=gallery |
| 665. | Шитиков Владимир Кириллович | 2, 4, 6 | Фото автора |
| 666. | Шиятов Степан Григорьевич | 2 | Фото из архива С.Г. Шиятова предоставлено А.Ю. Кулагиным, http://www.gis.usfeu.ru/shiyatov_r.htm |
| 667. | Шнайдер Стефан (Stephen H. Schneider) | 3 | http://www.exploratorium.edu/media/index.php?project=5&program=00000493 , http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/a/2010/07/19/BAE71EGMD2.DTL |
| 668. | Шнейдер Дэвид (David Clayton Schneider) | 9 | http://www.iemr.org/about_com_as.html , http://www.mun.ca/osc/dschneider/bio.php |
| 669. | Шнитке Альфред Гарриевич | 10 | http://forum.butsa.ru/index.php?s=1f2532eb767a958c546d9fc59dc4e2b7&showtopic=154950&st=15&p=4842929& |
| 670. | Шредер Манфред (Manfred Robert Schröder) | 5 | http://www.acoustic.ua/articles/588 , http://www.physik3.gwdg.de/~mrs/ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|---------------|---|
| 671. | Шрейдер Юлий Анатольевич | 2, 7 | http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=587, http://www.rasl.ru/science/Schreider_JuA.php |
| 672. | Шрёдингер Эрвин (Erwin Rudolf Josef Schrödinger) | 5, 7 | http://www.chm.bris.ac.uk/pt/harvey/elstruct/biogs.html, http://www.stormfront.org/forum/t483661-2/ |
| 673. | Шри Ауробиндо Гхош (англ. Sri Aurobindo Ghose) | 10 | http://neopalimaya.narod.ru/bibliot/biograf/aurobin.htm, http://mag-rostov.ru/Shri_Aurobindo.html |
| 674. | Шурганова Галина Васильевна | 5 | Фото автора |
| 675. | Эвбулид из Милета (Eubulides) | 1, 7 | http://www.ibdadilgi.com/genel.html |
| 676. | Эйлер Леонард (Leonhard Euler) | 1, 2 | http://www.math.uconn.edu/MathLinks/mathematicians_gallery.php?Rendition=printerfriendly, http://freebooksfrom.net/wp-content/themes/default/books/science/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography_0684313200/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography%20Vol%202.pdf |
| 677. | Эйнштейн Альберт (Albert Einstein) | 1, 3, 7, 9 | http://freebooksfrom.net/wp-content/themes/default/books/science/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography_0684313200/New%20Dictionary%20of%20Scientific%20Biography%20Vol%202.pdf, http://www.sparkleddesign.com/portfolio/flash/f019_i2l/index.html, http://www.nobeliat.ru/year.php?year=1921, http://fama.ru/?p=307 |
| 678. | Элдридж Нильс (Niles Eldredge) | Зак | http://www.nileseldredge.com/, http://www.vqronline.org/articles/2006/spring/eldredge-confessions-darwinist/#fn11 |
| 679. | Элленберг Гейнц (Heinz Ellenberg) | 9 | http://www.iwf.de/iwf/do/mkat/listing.aspx?Action=Quicklink&Search=Biologie;%20Geschichte;%20Kulturgeschichte;%20Botanik;%20C3%96kologie;%20Deutschland;%20Europa;&SearchIn=Klassifikation |
| 680. | Элтон Чарльз (Charles Sutherland Elton) | 3, 5, 10 | http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/ELTO1900.htm, http://bio.1september.ru/articlef.php?ID=200100703/ |
| 681. | Энгельгардт Владимир Александрович | 10 | http://vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/BIO/ENGEL/MAIN.HTM |
| 682. | Энгельс Фридрих (Friedrich Engels) | 1, 7, 10 | http://vpn.int.ru/index.php?name=Biography&op=page&pid=750, http://www.marksizm.info/content/view/5914/2/ |
| 683. | Энквист Брайан (Brian Joseph Enquist) | 10 | http://www.nceas.ucsb.edu/projects/12290, http://www.popsci.com/scitech/article/2004-10/brian-enquist |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|--|---------|--|
| 684. | Эпименид | 7 | http://www.biografguru.ru/about/epimenid/?q=4468 |
| 685. | Эрдёш Пол (Paul Erdős) | Зак | http://onionesquereality.files.wordpress.com/2010/04/paul-erdos.gif |
| 686. | Эрмит Шарль (Charles Hermite) | 5 | http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/PictDisplay/Hermite.html |
| 687. | Эрстед Ханс [Ганс] Христиан (Hans Christian Oersted [Ørsted]) | 10 | http://catchier.blogspot.com/2009/08/google_14.html |
| 688. | Эфроимсон Майк (Mike A. Efroymson) | 6 | http://www.peakyou.com/_efroymson |
| 689. | Эфрон Брэдли (Bradley Efron) | 2 | http://www-stat.stanford.edu/people/faculty/efron/index.html , http://www.sbm.temple.edu/biostat/about-spaig.html |
| 690. | Эшби Уильям (William Ross Ashby) | 1, 4, 8 | http://www.chacocanyon.com/pointlookout/071010.shtml |
| 691. | Югай Герасим Андреевич | 7 | http://chudinov.ru/zasedanie-raen-posvyaschennoe-sozdaniyu-iddts |
| 692. | Юл Джордж (Udny George Yule) | 2 | http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Posters2/Yule.html |
| 693. | Юнатов Александр Афанасьевич | 5 | Ботанический журнал [1968, т. 53, № 10], Музей Ботанического института им. В.Л. Коморова РАН (Санкт-Петербург) |
| 694. | Юхач-Наги Пал (Pal Juhasz-Nagy) | 7, 8 | http://members.iif.hu/visontay/ponticulus/rovatok/hidverok/suranyi_01.html |
| 695. | Якимов Василий Николаевич | 5 | Фото из архива В.Н. Якимова |
| 696. | Янтурин Сафаргали Искандерович | 5 | Фото автора |

Литература

Не стоит пристально рассматривать год выхода в свет того или иного источника - поскольку речь идет о математических методах, то уместно напомнить, что теорема Пифагора не устарела и по сей день...

П. Горский

http://www.finexpertiza.ru/articles/typical_rating_mistakes/index.html

- Абакумов А.И.** Дискретная модель популяции с учетом конкуренции за ресурс // Изв. АН СССР, сер. биол. – **1981**. – № 6. – С. 933-937.
- Абрамишвили Г.Г.** Устойчивые газоны для спорта и отдыха. – М.: Стройиздат, **1970**. – 101 с.
- Абросов Н.С., Боголюбов А.Г.** Экологические и генетические закономерности сосуществования и коэволюции видов. – Новосибирск: Наука, **1988**. – 333 с.
- Абросов Н.С., Ковров Б.Г.** Анализ видовой структуры трофического уровня одноклеточных. – Новосибирск: Наука, **1977**. – 190 с.
- Агол В.И.** О системе вирусов // Успехи соврем. биол. – **1974**. – Т. 77, вып. 2. – С. 28-39.
- Аграновский А., Хади Р., Зайцев В., Телеснин Б.** Верификация программ с помощью моделей. – **2003**. – <http://www.osp.ru/os/2003/12/183691>.
- Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, **1976**. – 279 с.
- Азовский А.И.** Соотношение пространственно-временных диапазонов в экологических иерархиях различной природы // Журн. общ. биол. – **2001**. – Т. 62, № 6. – С. 451-459.
- Азовский А.И., Чертопруд М.В.** Анализ пространственной организации сообществ и фрактальная структура литорального бентоса // Докл. Академии наук (ДАН). – **1997**. – Т. 356, № 5. – С. 713-715.
- Азовский А.И., Чертопруд М.В.** Масштабно-ориентированный подход к анализу пространственной структуры сообществ // Журн. общ. биол. – **1998**. – Т. 59, № 2. – С. 117-136.
- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, **1983**. – 471 с.
- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика: Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, **1985**. – 487 с.
- Айвазян С.А., Степанов В.С.** Инструменты статистического анализа данных // Мир ПК. – **1997**. – № 8. – <http://www.tvp.ru/prog/progrfr.htm>.
- Айвазян С.А., Степанов В.С.** Программное обеспечение по статистическому анализу данных: методология сравнительного анализа и выборочный обзор рынка // ТВП (Теория вероятностей и её применения). – URL. – <http://www.cemi.rssi.ru/rus/publicat/e-pubs/ep97001t.htm>.

- Айзатуллин Т.А., Леонов А.В.** Кинетика и механизм трансформации соединений фосфора и потребления кислорода в водной экологической системе (математическое моделирование) // Водные ресурсы. – 1977. – № 2. – С. 41-55.
- Айзатуллин Т.А., Шамардина И.П.** Математическое моделирование экосистем континентальных водотоков и водоемов // Итоги науки и техники. Общая экология, биоценология, гидробиология. – М.: ВИНТИ, 1980. – Т. 5. – С. 154-228.
- Айламазян А.К., Стась Е.В.** Информатика и теория развития. – М.: Наука, 1989. – 174 с.
- Акофф Р., Сасени М.** Основы исследования операций. – М.: Мир, 1971. – 534 с.
- Аксёнов Г.П.** В.И. Вернадский о природе времени и пространства. Историко-научное исследование. – М.: ИИЕТ РАН, 2006. – 392 с.
- Акчурин И.А.** Место математики в системе наук // Вопр. философии. – 1967. – № 1. – С. 79-90.
- Алберг Д., Нильсон Э., Уолш Д.** Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1977. – 349 с.
- Александров А.Ю., Платонов А.В., Старков В.Н., Степенко Н.А.** Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. – СПб.: "СОЛО", 2006. – 268 с.
- Александров В.В., Моисеев Н.Н.** Ядерный конфликт глазами климатологов и математиков // Вестн. АН СССР. – 1984. – № 11. – С. 65-76.
- Александров В.В., Стенчиков Г.Л.** О глобальных последствиях ядерной войны // Вычислит. математ. и мат. физика. – 1984. – № 1. – С. 140-143.
- Александрова В.Д.** Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1961. – Т. 66, вып. 3. – С. 101-113.
- Александрова В.Д.** О единстве непрерывности и дискретности в растительном покрове // Философские проблемы современной биологии. – М.; Л.: Наука, 1966. – С. 191-204.
- Александрова В.Д.** Классификация растительности: обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах. – Л.: Наука, 1969. – 275 с.
- Александрова В.Д.** О методе моделирования в фитоценологии // Ботан. журн. – 1970. – Т. 55, № 3. – С. 369-375.
- Алексеев В.В.** Исследование модели двухкомпонентных фитоценозов // Журн. общ. биол. – 1975. – Т. 36, № 6. – С. 914-919.
- Алексеев В.В.** Физика и экология. – М.: Знание, 1978. – 48 с.
- Алексеев В.В., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г.** Физическое и математическое моделирование экосистем. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 368 с.
- Алёкин О.А.** Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 443 с.
- Алёхин В.В.** Основные понятия и основные единицы в фитоценологии // Сов. бот. – 1935. – № 5. – С. 21-34.
- Алёхин В.В.** Теоретические проблемы фитоценологии и степеведения. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 211 с.
- Алимов А.Ф.** Биоразнообразие как характеристика структуры сообщества // Изв. РАН, Сер. биол. – 1998. – № 4. – С. 434-439.
- Алимов А.Ф.** Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
- Алимов А.Ф.** Об экологии всерьёз // Вестн. РАН. – 2003. – Т. 72, № 12. – С. 1075-1080.
- Алимов А.Ф., Старобогатов Я.И., Кержнер И.М. и др.** Проблемы исследований разнообразия животного мира России // Журн. общ. биол. – 1996. – Т. 57, № 2. – С. 5-13.

- Алимов А.Ф., Умнов А.А.** Использование моделирования при изучении продуктивности популяций моллюсков // Журн. общ. биол. – 1978. – Т. 39, № 6. – С. 886-894.
- Алимов Ю.И.** О проблемах приложения теории вероятностей, рассмотренных в работах В.Н. Тугубалина // Автоматика. – 1978. – № 4. – С. 71-82.
- Алимов Ю.И.** Альтернатива методу математической статистики. – М.: Знание, 1980. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. математ., киберн.; вып. 3).
- Аллахвердов В.М.** Методологическое путешествие по океану бессознательного к таинственному острову сознания. – М.: Речь, 2003. – 368 с.
- Алпатов В.В.** [Рецензия] // Экология. – 1970. – № 3. – С. 108-109. – Рец. на кн.: А.Л. Чижевский, Ю.Г. Шишина. В ритме Солнца. – М.: Наука, 1969.
- Альтшуллер Г.С.** Как делаются открытия (мысли о методике научной работы). – 1960. – <http://www.altshuller.ru/triz/investigations1.asp>.
- Альтшуллер Г.С.** Творчество как точная наука. – М.: Сов. радио, 1979. – 178 с.
- Альтшуллер Г.С.** Найти идею / 2-е изд. – Новосибирск: Наука, 1991. – 225 с.
- Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В.** Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач). – Кишинев: Картя Молдовеныскэ, 1989. – 380 с.
- Аматуни Т.В.** О возможности регулирования хищником численности жертвы в пространственно распределенной экосистеме // Математическое моделирование в биогеоэкологии. Тез. докл. Всесоюз. шк. – Петрозаводск: АН СССР, 1985. – С. 174-175.
- Андреев В.** Глава 1. Коллективизм рыб и модели поведения хищников. – URL. – <http://www.vlasenko.ru/1557-txt/1557-023.htm>.
- Андреев Ю.Б., Краснитский А.М., Светлосанов В.А., Утехин В.Д.** Прогноз продвижения древесно-кустарниковых растений в степные сообщества на основе математической модели // Биота основных геосистем центральной лесостепи. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1976. – С. 74-82.
- Андрианов И.В., Баранцев Р.Г., Маневич Л.И.** Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с. (Сер.: Синергетика: от прошлого к будущему.)
- Антоновский М.Я., Семенов С.М.** Математические методы экологического прогнозирования. – М.: Знание, 1978. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. математ., киберн.; вып. 8).
- Антонцев С.А., Мейрманов А.М.** Математические модели совместного движения поверхностных и подземных вод. – Новосибирск: НГУ, 1979. – 78 с.
- Ануфриев А.С., Глушук А.А., Устименко А.А. и др.** Синергетический подход в описании биологических динамических систем // Экол. вестн. Югории – 2007 – Т. 3, № 3-4 – С. 18-23.
- Артамонова Н.** Всегда во всем должна быть мера! // Газ. "Пермский университет". – 1998. – № 9 (1676). – С. 3. – www.psu.ru/pu/1676/10.html.
- Артюхов В.В.** Общая теория систем: Самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. – М.: URSS, 2009. – 224 с.
- Аруцев А.А., Ермолаев Б.В., Кутателадзе И.О., Слуцкий М.С.** Концепции современного естествознания. Учебное пособие. – М.: МГОУ, 1999. – <http://nrc.edu.ru/est/pos>.
- Астауров Б.Л.** Предисловие редактора русского перевода // На пути к теоретической биологии. I. Прологомены. – М.: Мир, 1970. – С. 5-7.
- Астауров Б.Л.** Теоретическая биология и некоторые очередные задачи // Вопр. философии. – 1972. – № 2. – С. 61-74.

- Ашмарин И.П., Воробьев А.А.** Статистические методы в микробиологических исследованиях. – М.: Медгиз, 1962. – 180 с.
- Ащепкова Л.Я., Гурман В.И., Кожова О.М.** Энергетическая модель пелагического сообщества оз. Байкал // Модели природных систем. – Новосибирск: Наука, 1978а. – С. 51-57. **Ащепкова Л.Я., Кожова О.М., Меншуткин В.В.** Модель сезонной динамики экосистемы озера Байкал // Модели природных систем. – Новосибирск: Наука, 1978б. – С. 57-65.
- Ащепкова Л.Я., Кузеванова Е.Н.** О некоторых закономерностях многолетних колебаний биомассы фито- и зоопланктона оз. Байкал // Изменчивость природных явлений во времени. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 163-168.
- Аэрокосмический мониторинг лесов / Под ред. А.С. Исаева, В.И. Сухих. – М.: Наука, 1991. – 241 с.
- Бабаев А.Г., Герасимов И.П., Нечаева Н.Т. и др.** Изучение и освоение пустынь и полупустынь в СССР // Проблемы освоения пустынь. – 1978. – № 3. – С. 17-24.
- Багоцкий С.В.** Периодическая система в биологии // Химия и жизнь. – 2006. – № 11. – С. 54-56.
- Багров Н.А.** О комплексном методе прогнозов // Метеорология и гидрология. – 1962. – № 4. – С. 14-21.
- Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И.** Долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.
- Бажанов А.** Об искусственно возделываемых лугах // Что можно заимствовать у иностранцев по части земледелия. – Спб.: Тип. Э. Стелловскаго, 1863. – С. 175-222.
- Баженов Л.А., Бирюков Б.В.** Некоторые философские вопросы моделирования биологических объектов // Математическое моделирование жизненных процессов. – М.: Мысль, 1968. – С. 45-64.
- Базыкин А.Д.** Математическая биофизика взаимодействующих популяций. – М.: Наука, 1985. – 181 с.
- Базыкин А.Д.** Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. – М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2003. – 368 с.
- Базыкин А.Д., Березовская Ф.С.** Эффект Олли, нижняя критическая численность популяции и динамика системы хищник–жертва // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – Т. 2. – С. 161-175.
- Базыкин А.Д., Кузнецов Ю.А., Хибник А.И.** Портреты бифуркаций: (Бифуркационные диаграммы динамических систем на плоскости). – М.: Знание, 1989. – 48 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»; № 3).
- Баканов А.И.** О некоторых методологических вопросах применения системного подхода для изучения структур водных экосистем // Биол. внутр. вод. – 2000. – № 2. – С. 5-19.
- Балушкина Е.В.** Функциональное значение личинок хирономид / Тр. Зоол. ин-та АН СССР. – Л.: Наука, 1987. – Т. 142. – 179 с.
- Балушкина Е.В.** Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение внешних условий / Тр. Зоол. ин-та РАН. – Л.: Наука, 1997. – Т. 272. – С. 266-292.
- Балушкина Е.В.** Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: оценка качества вод р. Ижоры по структурным характеристикам донных животных в разные годы // Биол. внутр. вод. – 2002. – № 4. – С. 61-68.
- Балушкина Е.В.** Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: влияние гидрофизических и гидрохимических параметров воды

- на структурные характеристики сообществ донных животных // Биол. внутр. вод. – 2003. – № 1. – С. 74-80.
- Балушкина Е.В.** Оценка состояния эстуария р. Невы в 1994-2005 гг. по структурным характеристикам сообществ донных животных // Биол. внутр. вод. – 2009. – № 4. – С. 64-72.
- Банди Б.** Методы оптимизации. – М.: Радио и связь, 1988. – 187 с.
- Барабашева Ю.М., Девяткова Г.Н., Тутубалин В.Н., Угер Е.Г.** Некоторые модели динамики численностей взаимодействующих видов с точки зрения математической статистики // Журн. общ. биол. – 1996. – Т. 57, № 2. – С. 123-139.
- Баранов Ф.И.** К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. Отдела рыбоводства и рыболовства науч.-промысловых исслед., 1918. – Т. 1, № 1. – С. 84-128.
- Баранов Ф.И.** К вопросу о динамике рыбного промысла // Бюлл. рыб. хоз-ва. – 1925. – № 8. – С. 26-38.
- Баранов Ф.И.** Избранные труды: в 4-х т. – М.: Пищ. Пром-сть, 1971. – Т. 3. Теория рыболовства. – 304 с.
- Баранцев Р.Г.** Нелинейность-когерентность-открытость как системная триада синергетики // Мост. – 1999. – № 29. – С. 54-55.
- Барсков И.С., Жерихин В.В., Раутиан А.С.** Проблемы эволюции биологического разнообразия // Журн. общ. биол. – 1996. – Т. 57, № 2. – С. 14-39.
- Бартини Р.О. ди, Кузнецов П.Г.** Множественность геометрий и множественность физик // Моделирование динамических систем. Вып. 2. Теоретические вопросы моделирования. Труды семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". – Брянск: АН СССР, 1974. – С. 18-29. – http://situation.ru/app/rs/lib/pobisk/ur_model_sys/ur_model_sys.htm.
- Бартлетт М.С.** Введение в теорию случайных процессов. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 384 с.
- Барцев С.И., Дегерменджи А.Г., Ерохин Д.В.** Глобальная минимальная модель многолетней динамики углерода в биосфере // Докл. Академии наук (ДАН). – 2005. – Т. 401, № 2. – С. 233-237.
- Барцев С.И., Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Щемель А.Л.** Влияние неопределенности оценки параметров минимальной биосферной модели на прогноз биосферной динамики // Изв. СамНЦ РАН. – 2009. – Т. 11, № 1 (7). – С. 1413-1418.
- Барцева О.Д.** Исследование отношений между структурой и функцией эволюционно возникших систем с помощью нейросетевой модели: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Красноярск, 2002. – 124 с.
- Багалин Г.А.** Эмпирико-статистическое моделирование психологических типов в задачах управления персоналом: Дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2001. – 136 с.
- Бауэр Э.С.** Теоретическая биология. – М.; Л.: ВНИИ эксперим. медицины, 1935. – 206 с.
- Башалханов И.А.** Моделирование продукционного процесса степного фитоценоза // Модели природных систем. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 100-106.
- Башаринов А.Е., Флейшман Б.С.** Методы статистического последовательного анализа и их приложения. – М.: Сов. радио, 1962. – 348 с.
- Бейли Н.** Статистические методы в биологии. – М.: Мир, 1963. – 271 с.
- Бейли Н.** Математика в биологии и медицине. – М.: Мир, 1970. – 327 с.
- Беклемишев В.Н.** О классификации биоценологических (симфизиологических) связей // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1951. – Т. 56, вып. 5. – С. 3-30.
- Беклемишев В.Н.** Об общих принципах организации жизни // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1964. – Т. 69, вып. 2. – С. 22-38.

- Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Изд-во ин. лит-ры, 1960. – 400 с.
- Белолипецкий В.М., Дулов В.Г. Дополнительные главы естествознания. Применение законов сохранения в математическом моделировании. – Красноярск: Краснояр. ун-т, 1987. – 69 с.
- Белолипецкий В.М., Шокин Ю.И. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. – Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1997. – 239 с.
- Белотелов Н.В. Проблема адекватности математических моделей экологических систем // Международная конференция по прикладной математике и информатике, посвященная 100-летию со дня рождения академика А.А. Дородницына (ВЦ РАН, Москва, 7-11 декабря 2010 г.). Тезисы докладов. – М.: ВЦ РАН, 2010. – С. – 174-175. – <http://www.ccas.ru/dorodnicyn-100/paper/dorodnicyn100.pdf>.
- Белотелов Н.В., Саранча Д.А. Исследование особенностей пространственного поведения в некоторых моделях экосистем // Математическое моделирование в биогеоэкологии. Тез. докл. Всесоюз. шк. – Петрозаводск: АН СССР, 1985. – С. 194-195.
- Белоус В.Н., Лактионов А.П. Новый вид *Astragalus (Fabaceae)* из Северо-Западного Прикаспия // Ботан. журн. – 2009. – Т. 94, № 5. – С. 133-137.
- Беляев В.И. Теория сложных геосистем. – Киев: Наук. думка, 1978. – 157 с.
- Беляев В.И. Математическое моделирование экосистем морей и океанов // Итоги науки и техники. Общая экология, биоэкология, гидробиология. – М.: ВИНТИ, 1980. – Т. 5. – С. 7-83.
- Беляев В.И. Моделирование морских систем. – Киев: Наук. думка, 1987. – 201 с.
- Беляев В.И., Ивахненко А.Г., Флейшман Б.С. Имитация, самоорганизация и потенциальная эффективность // Автоматика. – 1979а. – № 6. – С. 9-17.
- Беляев В.И., Ивахненко А.Г., Флейшман Б.С. Кибернетика, экология и оптимальное природопользование // XXXIV Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. – М.: Сов. радио, 1979б. – С. 13-16.
- Беляев В.И., Кондуфорова Н.В. Математическое моделирование экологических систем шельфа. – Киев: Наук. думка, 1990. – 239 с.
- Беляев В.И., Худошина М.Ю. Основы логико-информационного моделирования сложных геосистем. – Киев: Наук. думка, 1989. – 157 с.
- Березина Н.А. Гидробиология. 3-е изд. – М.: Пищ. пром-сть, 1973. – 496 с.
- Березовская Ф.С., Исаев А.С., Карев Г.П., Хлебопрос Р.Г. Роль таксиса в динамике численности лесных насекомых // Докл. РАН. – 1999. – Т. 365, № 3. – С. 416-419.
- Березовская Ф.С., Карев Г.П. Бегущие волны в полиномиальных популяционных моделях // Докл. РАН. – 1999. – Т. 368, № 3. – С. 318-322.
- Березовская Ф.С., Карев Г.П. Полиномиальные модели популяций с автотаксисом: решения «бегущие волны» // Матем. моделир. – 2000. – Т. 12, № 1. – С. 78-93.
- Березовская Ф.С., Карев Г.П., Хлебопрос Р.Г. Модели популяций насекомых-фитофагов с таксисом. Бегущие волны и устойчивость // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – Т. 17.
- Бернал Дж. Наука в истории общества. – М.: Изд-во иност. лит-ры, 1956. – 735 с.
- Бернштейн Н.А. Новые линии развития в физиологии и их отношения с кибернетикой // Вопр. философии. – 1962. – № 3. – С. 35-42.
- Библер В.С. Мышление как творчество. Введение в логику мысленного диалога. – М.: Политиздат, 1975. – 399 с.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: Особи, популяції, сообщество: В 2-х т. – М.: Мир, 1989. – Т. 1. – 667 с.; Т. 2. – 477 с.

- Биоиндикация: теория, методы, приложения / Под ред. Г.С. Розенберга. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. – 266 с.
- Бир С. Кибернетика и управление производством. – Москва: Наука, 1965. – 391 с.
- Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 223 с.
- Благовещенский Ю.Н., Дмитриев Е.А., Самсонова В.П. Применение непараметрических методов в почвоведении. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 95 с.
- Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. – М.: Наука, 1987. – 96 с.
- Блажек Б., Гадач Э., Голубичкова Б. Гносеологические предпосылки сбора данных в фитоценологии // Журн. общ. биол. – 1977. – Т. 38, № 5. – С. 724-734.
- Бобылев С.Н. Подмосковные пожары и Йоханнесбург (Экология крепнет экономически-ми законами) // 2002. – <http://www.inauka.ru/catalogue/article32421/print>.
- Бобылев С.Н., Гирусов Э.В., Перелет Р.А. Экономика устойчивого развития. Учебное пособие. – М.: Ступени, 2004. – 303 с.
- Бобырев А.Е., Криксунов Е.А. Математическое моделирование динамики популяций рыб с переменным темпом пополнения. – М.: Наука, 1996. – 131 с.
- Бобырев А.Е., Криксунов Е.А., Бурменский В.А. Простая модель пространственной динамики системы «потребитель – ресурс» // Докл. Академии наук (ДАН). – 2000. – Т. 373, № 6. – С. 841-843.
- Боголюбов А.Г. О принципе конкурентного исключения и механизмах поддержания видового разнообразия сообществ // Биол. науки. – 1989. – № 11. – С. 5-18.
- Боголюбов А.Г. Столетие биометрии в России // Изв. СамНЦ РАН. – 2002. – Т. 4, № 2 (8). – С. 189-198.
- Боголюбов А.Г. К столетию начала биометрических работ в России // Ботан. журн. – 2003. – Т. 88, № 7. – С. 133-140.
- Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / В 2-х т. – М.: Мир, 1974. – Т. 1. – 288 с.; Т. 2. – 316 с.
- Болтенков Е.М. О предпосылках формирования теоретической биологии. – Воронеж: Истоки, 1997. – 140 с.
- Большаков В.Н. Статьи и речи. – М.: Наука, 1970. – 406 с.
- Большаков В.Н. Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям. – М.: Наука, 1972. – 200 с.
- Большаков В.Н. Экологическое прогнозирование. – М.: Знание, 1983. – 62 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 5).
- Большаков В.Н., Криницин С.В., Кряжковский Ф.В., Мартинес Рика Х.П. Проблемы восприятия современным обществом основных понятий экологической науки // Экология. – 1996. – № 3. – С. 165-170.
- Большаков В.Н., Кубанцев В.С. Половая структура млекопитающих и её динамика. – М.: Наука, 1984. – 232 с.
- Большаков В.Н., Шварц С.С. Некоторые закономерности географической изменчивости грызунов на сплошном участке их ареала (на примере полевок рода *Clethrionomys*) // Тр. Ин-та биол. УФАН СССР. – 1962. – Вып. 29. – С. 29-44.
- Бондаренко Н.Ф., Жуковский Е.Е., Мушкин И.Г. и др. Моделирование продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 262 с.

- Борзенков В.Г.** Биология и физика (Логико-методологический анализ развития биологического знания). – М.: Знание, **1982**. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 10).
- Борзенков В.Г., Северцов А.С.** Теоретическая биология: размышления о предмете. – М.: Знание, **1980**. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 9).
- Борн М.** Физика в жизни моего поколения. – М.: Изд-во ин. лит-ры, **1963**. – 536 с.
- Боровиков В.П.** Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / 2-е изд. – СПб.: Питер, **2003**. – 688 с.
- Борщёв А.В.** Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta PRO. – **2004а**. – № 3-4 (7-8). – С. 38-47.
- Борщёв А.В.** От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. – **2004б**. – <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>.
- Борщёв А.В.** Применение имитационного моделирования в России – состояние на 2007 г. // 3-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2007; Санкт-Петербург, 17-19 октября 2007 г. – СПб.: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, **2007**. – С. 11-16.
- Брацун Д.А., Колесников А.К., Люшнин А.В., Шкараба А.М.** Моделирование процессов структурообразования в лесах Пермского края на основе клеточных автоматов и уравнения реакции-диффузии // 3-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2007; Санкт-Петербург, 17-19 октября 2007 г. – СПб.: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, **2007**. – С. 29-33.
- Брацун Д.А., Колесников А.К., Люшнин А.В., Шкараба А.М.** Моделирование пространственно-временной динамики лесного массива // Вестн. Пермского университета. Механика. – **2009**. – Вып. 3 (29). – С. 24-31.
- Бриллюэн Л.** Новый взгляд на теорию относительности. – М.: Мир, **1972**. – 144 с.
- Бродский И.** Кошачье «Мяу» // Собрание сочинений в 7 т. – СПб.: Пушкинский фонд, **2000**. – Т. 6. – С. 247-258.
- Брукс Ф.П., мл.** Как проектируются и создаются программные комплексы. Мифический человек-месяц. Очерки по системному программированию – М.: Наука, **1979**. – 152 с.
- Брусиловский П.М.** О вероятности выживания системы, готовящейся к наступлению катастроф // Модели организации, управления и методы их исследования. – Уфа: Изд-во Башкир. ун-та, **1975**. – С. 101-109.
- Брусиловский П.М.** Становление математической биологии. – М.: Знание, **1985**. – 62 с.
- Брусиловский П.М.** О математическом обеспечении задач прогнозирования временных рядов // Прогнозирование экологических процессов. – Новосибирск: Наука, **1986**. – С. 12-17.
- Брусиловский П.М.** Коллективы предикторов в экологическом прогнозировании. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, **1987**. – 104 с.
- Брусиловский П.М., Кожова О.М.** Проблемы прогнозирования состояния экосистем // Приемы прогнозирования экологических систем. – Новосибирск: Наука, **1985**. – С. 15-23.
- Брусиловский П.М., Орехов Ю.В.** О предсказании событий коллективом предикторов // Преодоление сложности в задачах организации и управления: Межвуз. науч. сб. – Уфа: Изд-во Башк. ун-та, **1983**. – С. 94-96.
- Брусиловский П.М., Розенберг Г.С.** Вероятностная модель достижения растительностью устойчивого состояния // III Всесоюзная конференция по биологической и медицинской кибернетике: Тез. докл. Т. 3. – М.; Сухуми: АН СССР, **1978**. – С. 229-232.

- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** Вероятностные модели предотвращения катаклизмов. – Препринт Ин-та биол. БФАН СССР. – Уфа, **1979а**. – 28 с.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** Сравнительная характеристика имитационных и самоорганизующихся моделей экологических систем // Проблемы экологии Прибайкалья: Тез. докл. респ. совещ. Ч. II-III. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, **1979б**. – С. 169-170.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** О возможности построения модели, удовлетворительно описывающей колебания в одной реальной системе хищник-жертва // Динамика эколого-экономических систем. – Новосибирск: Наука, **1981а**. – С. 84-91.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** Проверка неадекватности имитационных моделей динамической системы с помощью алгоритмов МГУА // Автоматика. – **1981б**. – № 6. – С. 43-48.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** Имитация, самоорганизация и экология. – Препринт Ин-та биол. БФАН СССР. – Уфа, **1981в**. – 40 с.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С.** Модельный штурм при исследовании экологических систем // Журн. общ. биол. – **1983**. – Т. 44, № 2. – С. 266-274.
- Брусилловский П.М., Розенберг Г.С., Усманов И.Ю.** [Рецензия] // Агрехимия. – **1986**. – № 6. – С. 136-138. – Рец. на кн.: Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л., 1983. – 176 с.; Платонов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. – Л., 1984. – 280 с.; Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л., 1984. – 264 с.
- Бубенщикова И.А., Пономарева И.С., Тарасевич Ю.Ю.** Математические модели естественных наук. Компьютерный практикум. Учебно-методическое пособие. – Астрахань: Астрах. гос. ун-т, **2010**. – 45 с.
- Буданов В.Г.** Синергетика: история, принципы, современность. – URL. – <http://spkurdyumov.narod.ru/SinBud.htm>.
- Будилова Е.В., Дрогалина Ж.А., Терёхин А.Т.** Основные направления современной экологии и её математический аппарат: анализ публикаций // Журн. общ. биол. – **1995**. – Т. 56, № 2. – С. 179-189.
- Будко В.В.** Философия науки: Учебное пособие. – Харьков: Консум, **2005**. – 268 с.
- Букатова И.Л.** Эволюционное моделирование и его приложения. – М.: Наука, **1979**. – 231 с.
- Букатова И.Л.** Эволюционное моделирование: идеи, основы теории, приложения. – М.: Знание, **1981**. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. математ., киберн.; вып. 10).
- Букатова И.Л.** Обучающиеся, адаптивные и самоорганизующиеся эволюционные вычисления // Обзор прикладной и промышленной математики. – **1996**. – Т. 3, вып. 5. – С. 706-724.
- Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М.** Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Наука, **1991**. – 206 с.
- Букварева Е.Н., Алещенко Г.М.** Задачи оптимизации взаимодействия человека и живой природы и стратегия сохранения биоразнообразия // Успехи совр. биол. – **1994**. – Т. 114, вып. 2. – С. 133-143.
- Букварева Е.Н., Алещенко Г.М.** Схема усложнения биологической иерархии в случайной среде // Успехи соврем. биол. – **1997**. – Т. 117, вып. 1. – С. 18-32.
- Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Левич А.П.** Региональный экологический контроль на основе биотических и абиотических данных мониторинга // Экологический монито-

- ринг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Учебное пособие. Часть V. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, **2003**. – С. 93-259.
- Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Милько Е.С.** Анализ экологического состояния вод для отдельных створов Нижней Волги на основе биоиндикации по показателям видового разнообразия фитопланктона // Вода: химия и экология. – **2010**. – № 12. – С. 27-34.
- Бульон В.В.** Моделирование потоков энергии в озерных экосистемах как инструмент гидробиологических исследований // Водные ресурсы. – **2005**. – Т. 32, № 3. – С. 361-370.
- Бульон В.В.** Первичная продукция и рыбопродуктивность: моделирование и прогноз // Биология внутренних вод. – **2006а**. – № 1. – С. 48-56.
- Бульон В.В.** Прогнозирование биологической продуктивности озерных экосистем при изменяющихся внешних условиях // IX Съезд Гидробиологического общества РАН (г. Тольятти, Россия, 18-22 сентября 2006 г.), тезисы докладов, т. I. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2006б**. – С. 62.
- Бурков В.Д., Крапивин В.Ф.** Экоинформатика: алгоритмы, методы и технологии. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, **2009**. – 432 с.
- Бурова Г.П.** Концепты «лекарство» и «аптека» в фармацевтическом дискурсе // Культурная жизнь Юга России. – **2008**. – № 1 (26). – С. 121-126.
- Бурцева Е.И.** Опыт количественного анализа растительности солончаковых лугов в пойме Средней Лены // Экология и ценология лугов Центральной Якутии. – Якутск: Изд-во Якутс. госун-та, **1978**. – С. 128-164.
- Бурцева Е.А., Кононов К.Е., Розенберг Г.С.** Статистический анализ растительности солончаковых лугов поймы реки Лены. II. Геоботаническая индикация // Биол. науки. – **1978**. – № 6. – С. 132-139.
- Бусленко Н.П.** Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, **1977**. – 240 с.
- Бусленко Н.П.** Моделирование сложных систем / 2-е изд. – М.: Наука, **1978**. – 399 с.
- Быков Б.А.** Экологический словарь. – Алма-Ата: Наука, **1988**. – 212 с.
- Быкова С.** Приведи планету в порядок. О том, как защитить природу, думали еще в древности [Рецензия] // Газ. "Поиск". – **2005**. – № 28-29 (842-843). – С. 16.
- Бэрроу Д., Веб Д.** Непостоянные постоянные // В мире науки. – **2005**. – № 9. – <http://www.sciam.ru/2005/9/cosmology.shtml>.
- Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2005 год) / Ковалевская Р.З., Михеева Т.М., Жукова Т.В. и др. / Отв. ред. Остапеня А.П. – Минск: Белорус. госун-т, **2007**. – 62 с.
- Бююль А., Цефель П.** SPSS 10: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. – СПб.: ООО "ДиаСофтЮп", **2005**. – 608 с.
- Бялко А.В., Трубников Б.А., Трубникова О.Б.** Эмпирический «закон Парето–Цифа–Кудрина» и общая теория конкуренции // Общ. и прикл. ценология. – **2007**. – № 4. – С. 20-24.
- Вавилин В.А., Георгиевский А.Б.** Упрощенная динамическая модель ценопопуляции черного саксаула // Лесоведение. – **1974**. – № 3. – С. 74-79.
- Вавилин В.А., Георгиевский А.Б.** Математическая модель ценопопуляции черного саксаула // Ресурсы биосферы. – Л.: Наука, **1975**. – Вып. 1. – С. 160-163.

- Вавилов Н.И.** Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости // Доклад на III Всероссийском селекционном съезде в г. Саратове 4 июня 1920. – Саратов, 1920. – 16 с.
- Ваганов Е.А.** Механизмы и имитационная модель формирования структуры годичных колец у хвойных // Лесоведение. – 1996. – № 1. – С. 3-15.
- Ваганов Е.А., Сви́дерская И.В., Кондратьева Е.Н.** Погодные условия и структура годичного кольца деревьев: имитационная модель трахеидограмм // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 37-45.
- Ваганов Е.А., Терсков И.А.** Анализ роста дерева по структуре годичных колец. – Новосибирск: Наука, 1977. – 94 с.
- Ваганов Е.А., Шашкин А.В.** Рост и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск: Наука, 2000. – 227 с.
- Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Сви́дерская И.В.** Сезонный рост и формирование годичных колец: кинетический подход и имитационное моделирование // Биофизика клеточных популяций и надорганизменных систем. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 140-150.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г.** Дендроклиматические и дендрэкологические исследования в Северной Евразии // Лесоведение. – 2005. – № 4. – С. 18-28.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука, 1996. – 245 с.
- Вайну Я.Я.-Ф.** Корреляция рядов динамики. – М.: Статистика, 1977. – 119 с.
- Вальтер Г.** Общая геоботаника. – М.: Мир, 1982. – 264 с.
- Вапник В.Н.** Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
- Вапник В.Н., Червоненкис А.Я.** Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
- Василевич В.И.** Статистические методы в геоботанике. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
- Василевич В.И.** Метод автокорреляции при изучении динамики растительности // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. К 90-летию со дня рождения академика В.Н. Сукачева / Тр. Моск. об-ва испыт. природы. Т. 38 / Отв. ред. Т.А. Работнов. – М.: Наука, 1970. – С. 17-23.
- Василевич В.И.** Количественные методы изучения структуры растительности // Итоги науки и техники. Ботаника. – М.: ВИНТИ, 1972. – Т. 1. – С. 7-83.
- Василевич В.И.** Очерки теоретической фитоценологии. – Л.: Наука, 1983. – 247 с.
- Василевич В.И.** Видовое разнообразие растительности // Сиб. экол. журн. – 2009. – № 4. – С. 509-517.
- Василевич В.И., Юрковская Т.К.** Александр Петрович Шенников (1888-1962). – М.: Наука, 2007. – 114 с.
- Васильев В.И., Ильясов Б.Г.** Интеллектуальные системы управления с использованием генетических алгоритмов. Учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 1999. – 105 с.
- Вейль Г.** Симметрия. – М.: Наука, 1968. – 192 с.
- Вейль Г.** Математический способ мышления (выступление на конференции, посвященной 200-летию Пенсильванского университета 17.09.1940 г.) // Математическое мышление / Под ред. Б.В. Бирюкова и А.Н. Паршина. – М.: Наука, 1989. – С. 6-24 [Weyl H. The mathematical way of thinking // Science. – 1940. – V. 92, № 2394. – P. 437-446].
- Вендров А.М.** CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. – 2002. – <http://fp.grsu.by/UchProc/konspekt/i02>.

- Вентцель А.Д., Фрейдлин М.И.** Флуктуации в динамических системах под воздействием малых случайных возмущений. – М.: Наука, **1979**. – 424 с.
- Вернадский В.И.** Биосфера. – Л.: Науч. химико-технич. изд-во, **1926а**. – 146 с.
- Вернадский В.И.** О размножении организмов и его значении в механизме биосферы. Ст. 1-2 // Изв. АН СССР. Сер. 6. – **1926б**. – Т. 20, № 9. – С. 697-726; № 12. – С. 1053-1060;
- Вернадский В.И.** Бактериофаг и скорость передачи жизни в биосфере // Природа. – **1927**. – № 6. – С. 434-446.
- Вернадский В.И.** О состояниях физического пространства. – **1938**. – http://vvvasilyev.narod.ru/Kulturolog/Vernadski/PVPiS_5.htm.
- Вернадский В.И.** Избранные сочинения / Под ред. А.П. Виноградова. – М.: АН СССР, **1954**. – Т. I. – 696 с.
- Вернадский В.И.** Переписка В.И. Вернадского и Б.Л. Личкова (1818-1939). – М.: Наука, **1979**. – 269 с.
- Вернадский В.И.** Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, **1988**. – 520 с.
- Вернадский В.И.** О научном мировоззрении // На переломе. Философские дискуссии 20-х годов. Философия и мировоззрение / Состав. П.В. Алексеев. – М.: Политиздат, **1990**. – С. 180-203.
- Вернадский В.И.** О размножении организмов и его значении в строении биосферы // Вернадский В.И. Труды по биогеохимии и геохимии почв. – М.: Наука, **1992**. – С. 75-101.
- Вернадский В.И.** Дневники 1921-1925. – М.: Наука, **1998**. – С. 184.
- Вернадский В.И.** Биосфера. Мысли и наброски. Сборник научных работ В.И. Вернадского. – М.: Изд. дом "Ноосфера", **2001**. – 244 с.
- Визгин В.П.** Единые теории в 1-й трети XX в. – М.: Наука, **1985**. – 304 с.
- Виктор Сергеевич Ивлев. К 100-летию со дня рождения. Сборник воспоминаний. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, **2007**. – 84 с.
- Винберг Г.Г.** Интенсивность обмена и размеры ракообразных // Журн. общ. биол. – **1950**. – Т. 11, № 5. – С. 367-380.
- Винберг Г.Г.** Зависимость энергетического обмена от массы тела у водных пойкилотермных // Журн. общ. биол. – **1976**. – Т. 37, № 1. – С. 56-69.
- Винберг Г.Г.** Опыт применения разных систем биологической информации загрязнения вод в СССР // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. – Л.: Наука, **1979**. – С. 43-51.
- Винберг Г.Г.** Многообразие и единство жизненных явлений и количественные методы в биологии // Журн. общ. биол. – **1981**. – Т. 42, № 1. – С. 5-18. (**2000**. – Т. 61, № 5. – С. 549-560).
- Винберг Г.Г.** "Устойчивое неравновесие" живого. Рецензия на кн.: Э.С.Бауэр. Теоретическая биология. Будапешт: Изд-во АН Венгрии, 1982, 269 с. // Природа. – **1984**. – № 2. – С. 120-122.
- Винберг Г.Г.** Общие особенности продукционного процесса в Нарочанских озерах // Экологическая система Нарочанских озер. – Минск: Изд-во "Университетское", **1985**. – С. 269-284.
- Винберг Г.Г., Меншуткин В.В.** Значение математического моделирования для разработки научных основ рационального использования биологических ресурсов пресных вод. Проблемы долгосрочного планирования биологических исследований // Зоология. – **1974**. – Вып. 1. – С. 25-44.

- Винер Н.** Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Сов. радио, 1968. – 326 с.
- Виттих В.А.** Интеграция знаний на основе компьютерных теорий артефактов. Препринт № 1. – Самара: Сам. филиал Ин-та машиноведения РАН, 1995. – 16 с.
- Виттих В.А.** Управление открытыми системами на основе интеграции знаний // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 38-49.
- Виттих В.А.** Инженерная эпистемология // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды III Международной конференции. – Самара: Самар. НЦ РАН, 2001. – С. 92-101.
- Виттих В.А.** Процессы управления в социотехнических системах // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VII Международной конференции. – Самара: Самар. НЦ РАН, 2005. – С. 32-42.
- Виттих В.А.** Парадигма ограниченной рациональности принятия решений: препринт. – Самара: ИПУСС РАН, 2009а. – 26 с.
- Виттих В.А.** Аксиологические и верифицируемые научные знания // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI Международной конференции. – Самара: Самар. НЦ РАН, 2009б. – С. 449-454.
- Виттих В.А., Ситников П.В., Смирнов С.В.** Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 5. – С. 45-53.
- Виттих В.А., Скобелев П.О.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 1. – С. 177-185.
- Виттих В.А., Скобелев П.О.** Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – № 2. – С. 78-87.
- Воейков В.Л.** Витализм: может ли он служить исследовательской программой? // Биофилософия. – М.: ИФРАН, 1997. – С. 183-195. (Сер.: Философский анализ оснований биологии).
- Вознесенский В.А.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
- Войнов А.А., Жарова Н.А.** Система автоматизации имитационного моделирования водных объектов: пространственно-неоднородные модели // Журн. общ. биол. – 1991 – Т. 52, № 6. – С. 868-883.
- Войнов А.А., Свирежев Ю.М.** Устойчивость простейшей модели водной экосистемы // Журн. общ. биол. – 1981 – Т. 42, № 6. – С. 936-940.
- Войшвилло Е.К., Дегтярев М.Г.** Логика: Учебник для студентов юридических вузов. – М.: Владос-Пресс, 2001. – 528 с.
- Вол И.А., Заславский Б.Г., Неусыпина Т.А. и др.** Имитационная модель водного транспорта в системе почва – растение – атмосфера и его связь с ростом биомассы посева // Энерго- и массообмен в среде обитания растений. – Л.: ВАСХНИЛ, 1977. – С. 11-22.
- Волков А.** Как возникли законы природы? Поразительные гипотезы физиков. – URL. – <http://www.ecoteco.ru/index.php?id=1034>.
- Волков М.** Своя мера // Русский Провинциальный Журнал – Воронеж. – 2005. – № 1 (20). – С. 20-21. – <http://www.albom.info/voronezh/article/art4.htm>.
- Волькенштейн М.В.** Перекрестки науки. – М.: Наука, 1972. – 336 с.

- Вольтерра В.** Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, **1976.** – 288 с. (Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.; Ижевск: Инст. комп. исследов., **2004.** – 288 с.).
- Вольцингер Н.Е., Клеванный К.А., Пелиновский Е.Н.** Длинноволновая динамика прибрежной зоны. – Л.: Гидрометеиздат, **1989.** – 271 с.
- Воробьев Н.Н.** Числа Фибоначчи. 5-е изд. – М.: Наука, **1984.** – 144 с. – (Популярные лекции по математике).
- Ворович И.И., Горелов А.С., Горстко А.Б. и др.** Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря: математические модели. – М.: Наука, **1981.** – 360 с.
- Ворович И.И., Сурков Ф.А., Селютин В.В., Бердников С.В.** Итоги и задачи модельных исследований экосистемы Азовского моря // Проблемы биологии и геологии в связи с перспективой рыболовства и нефтегазодобычи в Азовском море. Тезисы докладов международного научного семинара. – Ростов-на-Дону: Ростов. гос. ун-т, **2000.** – С. 14-15.
- Воронов А.Г.** Геоботаника. – М.: Высш. шк., **1973.** – 384 с.
- Вошинин А.П.** Метод оптимизации объектов по интервальным моделям целевой функции. – М.: МЭИ, **1987.** – 109 с.
- Вошинин А.П., Акматбеков Р.А.** Оптимизация по регрессионным моделям и планирование эксперимента. – Бишкек: Илим, **1991.** – 164 с.
- Вошинин А.П., Сотиров Г.Р.** Оптимизация в условиях неопределенности. – М.: МЭИ; София: Техника, **1989.** – 224 с.
- Вригт Г.Х. фон.** Объяснение и понимание // Логико-философские исследования. Избранные труды. – М.: Прогресс, **1986.** – С. 37-241.
- Вудивисс Ф.С.** Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. – Л.: Гидрометеиздат, **1977.** – С. 132-161.
- Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А.** От амебы до робота: модели поведения. – М.: Наука, **1987.** – 285 с.
- Габор Д.** Перспективы планирования // Автоматика. – **1972.** – № 2. – С. 16-22.
- Газоны. Научные основы интродукции и использования газонных и почвопокровных растений / Под ред. Н.В. Цицина. – М.: Наука, **1977.** – 236 с.
- Гайденко П.П.** Природа и идеализированный объект // Природа. – **1986.** – № 11. – С. 84-92.
- Гак В.Г.** Языковые преобразования. – М.: Школа «Языки русской культуры», **1998.** – 768 с.
- Галицкий В.В.** О коллективном самоугнетении в однородном растительном сообществе и колебательном изменении биомассы его членов // Докл. АН СССР. – **1979.** – Т. 246, № 4. – С. 1013-1015.
- Галицкий В.В.** О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе. Препринт НЦБИ АН СССР. – Пушкино, **1980.** – 28 с.
- Галицкий В.В., Комаров А.С.** Модель самоизреживания древостоя. Препринт. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, **1975.** – 12 с.
- Галицкий В.В., Тюрюканов А.Н.** О методологических предпосылках моделирования в биогеоценологии // Моделирование биогеоценологических процессов. – М.: Наука, **1981.** – С. 16-29.
- Галямин Е.П.** О построении динамической модели формирования урожая агроценозов // Биологические системы в земледелии и лесоводстве. – М.: Наука, **1974.** – С. 70-83.

- Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц / Изд. 4-е. – М.: Наука, **1988**. – 548 с.
- Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И.** Хаотическая динамика простых систем // Природа. – **1981**. – № 2. – С. 54-65.
- Гаранин В.И.** Павел Викторович Терентьев (1903-1970) // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **1997**. – Вып. 2. – С. 3-9.
- Гардинер М.** Стохастические методы в естественных науках. – М.: Мир, **1986**. – 528 с.
- Гаспарский В.** Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок. – М.: Мир, **1978**. – 172 с.
- Гастев Ю.А.** Гомоморфизмы и модели (Логико-алгебраические аспекты моделирования). – М.: Наука, **1975**. – 148 с.
- Гаузе Г.Ф.** О процессах уничтожения одного вида другим в популяциях инфузорий // Зоол. журн. – **1934а**. – Т. 13. – Вып. 1. – С. 18-26. (см. также: Антология экологии / Состав. и коммент. Г.С. Розенберга. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2004**. – С. 209-225).
- Гаузе Г.Ф.** Экспериментальное исследование борьбы за существование между *Paramecium caudatum*, *Paramecium aurelia* и *Stylonychia mytilus* // Зоол. журн. – **1934б**. – Т. 13, вып. 1. – С. 1-16.
- Гаузе Г.Ф.** Исследование над борьбой за существование в смешанных популяциях // Зоол. журн. – **1935**. – Т. 14, вып. 2. – С. 243-270.
- Гаузе Г.Ф.** Экспериментальное направление в изучении динамики популяций // Зоол. журн. – **1945**. – Т. 24, № 4. – С. 215-223.
- Гаузе Г.Ф.** Борьба за существование. – М.; Ижевск: Ин-т компьютер. иссл., **2002**. – 160 с.
- Гаузе Г.Ф., Алпатов В.В.** Логистическая кривая Verhulst-Pearl'я и её применение в области количественной биологии // Журн. эксперим. биол. – **1930**. – Т. 6, № 4. – С. 5-20. (Gause G.F., Alpatov W.W. Die logistische Kurve von Verhulst-Pearl und ihre Anwendung im Gebiet der quantitativen Biologie // Biol. Zentbl. – **1931**. – Bd. 51. – S. 1-14).
- Гегель Г.** Собрание сочинений. Т. 1-14. – М.-Л.: Соцэкгиз, 1929-1958. – Т. 6. Наука логики. – **1939**. – С. 309-310.
- Гедзь Н.А.** Об учете влияния одиннадцатилетней циклической активности солнца на уровень урожайности в пятилетних планах // Опыт разработки и внедрения первой очереди АСПР республики. – Киев: Госплан СМ УССР, **1977**. – С. 59-64.
- Гейзенберг В.** Шаги за горизонт. – М.: Прогресс, **1987**. – 368 с.
- Гейзенберг В.** Физика и философия. Часть и целое. – М.: Наука, **1989**. – 401 с.
- Геккель Э.** Всеобщая морфология организмов. Общие основы науки об органических формах, механически основанной на теории эволюции, реформированной Чарльзом Дарвиным // Антология экологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2004**. – С. 7-16.
- Гелашвили Д.Б.** Еще раз о стабильности развития // Заповедники и Национальные парки. – **2002**. – № 37-38. – С. 45.
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С.** Фрактальная структура перколяционного кластера и пространственное распределение доминантных видов // Докл. Академии наук (ДАН). – **2006а**. – Т. 408, № 4. – С. 560-563.
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С. и др.** Степенной закон и принцип самоподобия в описании видовой структуры сообществ // Поволж. экол. журн. – **2004а**. – № 3. – С. 227-245.
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С. и др.** Биоразнообразие и климат с позиции теории фракталов // Изв. СамНЦ РАН. – **2007а**. – Спец. выпуск «ELPIT-2007», сер. «Экология». – С. 139-150.

- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С. и др. Основы мультифрактального анализа видовой структуры сообщества // Усп. соврем. биол. – 2008а. – Т. 128, № 1. – С. 21–31.
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С. и др. Фрактальная теория структуры сообщества. – Н.Новгород: ННГУ, 2011 (в печати).
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н. Элементы фрактальной теории видовой структуры гидробиоценозов // Изв. СамНЦ РАН. – 2006б. – Т. 8, № 1. – С. 70-79.
- Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н. Степенной характер накопления видового богатства как проявление фрактальной структуры биоценоза // Журн. общ. биол. – 2007б. – Т. 68, № 3. – С. 170-179.
- Гелашвили Д.Б., Копосов Е.В., Лаптев Л.А. Экология Нижнего Новгорода. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2008б. – 530 с.
- Гелашвили Д.Б., Королёв А.А., Басуров В.А. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщенной функции желательности (на примере Нижегородской области) // Поволж. эколог. журнал. – 2006в. – № 2/3. – С. 129-138.
- Гелашвили Д.Б., Нижегородцев А.А., Епланова Г.В., Табачишин В.Г. Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* как популяционная характеристика // Изв. СамНЦ РАН. – 2007в. – Т. 9, № 4. – С. 941-949.
- Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С., Иудин Д.И. и др. Фрактальные аспекты характеристики речных экосистем на примере Волги // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 4: Тезисы докладов международной конференции / Отв. ред. Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов [электронный ресурс]. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008в. – С. 35.
- Гелашвили Д.Б., Солдатов Е.Н., Чупрунов Е.В. Меры сходства и разнообразия в оценке флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков // Поволж. экол. журн. – 2004б. – № 2. – С. 132-143.
- Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально-симметричных организмов // Журн. общ. биол. – 2004в. – Т. 65, № 4. – С. 377-385.
- Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И. Методологические аспекты пангеометризма в популяционной биологии // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. биол. – 2005. – Вып. 1(9). – С. 39-56.
- Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Радаев А.А. Оценка степени симметрии тест-организмов в биомониторинге наземных и водных экосистем // Материалы Междунар. конф. "Малые реки: современное экологическое состояние, актуальные проблемы". – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. – С. 53.
- Гелашвили Д.Б., Якимов В.Н., Логинов В.В., Епланова Г.В. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии: Сб. науч. трудов. Вып. 7. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004г. – С. 45-59.
- Геловани В.А., Егоров В.А., Митрофанов В.Б. и др. Решение одной задачи управления в глобальной динамической модели Форрестера. Препринт ИМП АН СССР. – М., 1974. – № 56. – 44 с.
- Геловани В.А., Егоров В.А., Митрофанов В.Б. и др. Об одной задаче управления в глобальной динамической модели Форрестера. – Докл. АН СССР. – 1975. – Т 220, № 3. – С. 137-140.

- Геловани В.А., Егоров В.А., Митрофанов В.Б., Пионтковский А.А. Исследование влияния управления на глобальную модель Форрестера // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1976. – Вып. 31. – С. 187-224.
- Гемпель К.Г. Логика объяснения. – М.: Дом интеллектуальной книги, 1998. – 240 с.
- Георгиевский А.Б. Структура ценопопуляции *Haloxylon ammodendron* (С.А. Мей) в юго-восточных Каракумах // Ботан. журн. – 1972. – Т. 57, № 11. – С. 1444-1454.
- Георгиевский А.Б. Проблемы преадаптации. – Л.: Наука, 1974. – 234 с.
- Георгиевский А.Б., Родин Л.Е. [Рецензия] // Ботан. журн. – 1974. – Т. 59, № 5. – С. 755-757. – Рец. на кн.: Grassland Biome. U.S. International Biological Program. Newsletter № 12. – Fort Collins: Colorado State Univ., 1973. – 15 p.
- Герасимов В.В. Эколого-физиологические закономерности стайного поведения рыб. – М.: Наука, 1983. – 124 с.
- Гёте И.В. Фауст. Трагедия. 1 и 2 части // Собрание сочинений. – М.: ГИХЛ, 1947. – Т. 5. – 590 с.
- Гигаури А.А., Свирежев Ю.М. Распределение волны в системе «ресурс–потребитель» // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 258, № 5. – С. 1274-1276.
- Гийон Э., Митеску К.Д., Юлен Ж.П., Ру С. Фракталы и перколяция в пористой среде // Успехи физ. наук. – 1991. – Т. 161, № 10. – С. 121-128.
- Гилева Э.А., Ялковская Л.Э., Бородин А.В. и др. Флуктуирующая асимметрия краниометрических признаков у грызунов (Mammalia: Rodentia): межвидовые и межпопуляционные сравнения // Журн. общ. биол. – 2007. – Т. 68, № 3. – С. 221-230.
- Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
- Гильманов Т.Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978а. – 169 с.
- Гильманов Т.Г. Некоторые итоги моделирования травяных экосистем в США в рамках Международной биологической программы // Биогеофизические и математические методы исследования геосистем. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1978б. – С. 19-35.
- Гильманов Т.Г., Мамихин С.В. Математическая модель продукционного процесса в экосистеме илакового белосаксаульника Репетекского заповедника // Проблемы освоения пустынь. – 1986. – № 4. – С. 22-31.
- Гиляров А.М. Методологические проблемы современной экологии. Смена ведущих концепций // Природа. – 1981. – № 9. – С. 96-103.
- Гиляров А.М. Соотношение органицизма и редуционизма как основных методологических подходов в экологии // Журн. общ. биол. – 1988. – Т. 49, № 2. – С. 202-217.
- Гиляров А.М. Популяционная экология: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 191 с.
- Гиляров А.М. Экология, обретающая статус науки // Природа. – 1998а. – № 2. – С. 89-99.
- Гиляров А.М. Экология в поисках универсальной парадигмы // Природа. – 1998б. – № 3. – С. 73-82.
- Гиляров А.М. Феномен Винберга // Природа. – 2005. – № 12. – С. 47-60.
- Гиляров А.М. Прожить в озере, не питаясь едой с суши, нельзя // Элементы.ru. – 2006. – № 5. – <http://elementy.ru/news/430230>.
- Гиляров А.М. В поисках универсальных закономерностей организации сообществ: прогресс на пути нейтрализма // Журн. общ. биол. – 2010. – Т. 71, № 5. – С. 386-401.
- Гиляров М.С. О функциональном значении симметрии организмов // Зоол. журн. – 1944. – Т. 23, № 5. – С. 213-215.
- Гиляров М.С., Винберг Г.Г., Чернов Ю.И. Экология – задачи и перспективы // Природа. – 1977. – № 5. – С. 3-11.

- Гиммельфарб А.А., Гинзбург Л.Р., Полуэктов Р.А. и др. Динамическая теория биологических популяций. – М.: Наука, 1974. – 456 с.
- Гинзбург Л.Р., Коновалов Н.Ю., Эпельман Г.С. Математическая модель взаимодействия двух популяций. IV. Сравнение теории и эксперимента // Журн. общ. биол. – 1974. – Т. 35, № 4. – С. 613-619.
- Гинзбург Л.Р., Песенко Ю.А., Сергеев Г.Е., Эпельман Г.С. Диффузионная модель метода исчерпания популяций животных для оценки их абсолютной плотности и скорости рассеивания. Сообщение 1. Теория метода // Зоол. журн. – 1975. – Т. 54, № 2. – С. 289-294.
- Гинзбург Э.Х. Оценка показателя силы влияния и планирование дисперсионного комплекса // Генетика. – 1973. – Т. 9, № 3. – С. 156-162.
- Гительзон И.И., Абросов Н.С., Гладышев М.И. и др. Енисей: проблемы крупнейшей реки Сибири // Круговорот углерода и минеральных веществ в крупнейших реках мира / Под ред. Е.Т. Дегена и Р. Херрера. – Гамбург: SCOPE/UNEP, 1985. – № 58. – С. 471-485.
- Гленддорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
- Глотов Н.В., Животовский Л.И., Хованов И.В., Хромов-Борисов Н.Н. Биометрия. – Л.: ЛГУ, 1982. – 263 с.
- Глушков В.Н., Недоступов Э.В., Саранча Д.А., Юферова И.В. Компьютерные методы анализа математических моделей экологических систем. – М.: ВЦ РАН, 2006. – 74 с.
- Гнеденко Б.В. Из истории науки о случайном. – М.: Знание, 1981. – 64 с.
- Говорухин В.Н., Моргулис А.Б., Сенина И.Н., Тютюнов Ю.В. Моделирование активных миграций пространственно-распределенных популяций // Обзор. прикл. и промысл. математ. – 1999. – Т. 6, вып. 2. – С. 271-295.
- Говорухин В.Н., Моргулис А.Б., Тютюнов Ю.В. Медленный таксис в модели хищник-жертва // Докл. Академии наук (ДАН). – 2000. – Т. 372, № 6. – С. 730-732.
- Гоголева П.А., Кононов К.Е., Миркин Б.М., Миронова С.И. Синтаксономия и симфитосоциология растительности аласов Центральной Якутии. – Якутск: Изд-во Якутск. госун-та, 1987. – 176 с.
- Годунов С.К., Рябенский В.С. Введение в теорию разностных схем. – М.: Физматгиз, 1962. – 340 с.
- Голикова Т.И., Панченко Л.А., Фридман М.З. Каталог планов второго порядка. В 2-х ч. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. – Ч. 1. – 388 с.; Ч. 2. – 386 с.
- Голованов Я.К. Этюды об ученых. – М.: Молодая гвардия, 1976. – 416 с.
- Головатюк Л.В. Макрозообентос равнинных рек бассейна Нижней Волги как показатель их экологического состояния (на примере реки Сок и ее притоков): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, 2005. – 20 с.
- Головко В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. – Брест: БПИ, 1999. – Кн. 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями. – 260 с.; Кн. 2. Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей – 228 с.
- Голуб В.Б. К характеристике ассоциации *Alismato-Salicornietum* ass. nova в дельте р. Волга // Антропогенные процессы а растительности. – Уфа: БФАН СССР, 1985. – С. 35-47.
- Голуб В.Б. [Рецензия] // Бот. журн. – 1986. – Т. 71, № 7. – С. 973-976. – Рец. на сб.: Фитоценология антропогенной растительности. – Уфа, Башкир. ун-т, 1985.
- Голуб В.Б., Халеев Е.А., Рухленко И.А. Пакет программ для обработки геоботанических данных «Фитоценолог» // II совещание «Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях»: Тез. докл. – СПб.: БИН РАН, 1995. – С. 13-14.

- Голубев В.Н., Корженевский В.В. [Рецензия] // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1985. – Т. 90, вып. 5. – С. 140-142. – Рец. на кн.: Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. – М.: Наука, 1984. – 240 с.
- Гоник М.М., Бобырев А.Е., Бурменский В.А. и др. Математическое моделирование динамики рыбного сообщества: сравнительный анализ влияния пространственной неоднородности среды обитания на плотность популяций // Математика. Компьютер. Образование. Сб. трудов XIII международной конференции / Под ред. Г.Ю. Ризниченко. – Ижевск: Научно-издательский центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2006. – Т. 2. – С. 414-423. – <http://www.mce.su/archive/doc15431/doc.pdf>.
- Гоник М.М., Бобырев А.Е., Бурменский В.А. и др. Инвазия промежуточного хищника: динамика популяций рыб в математической модели трофической цепи (на примере Сямрзери) // Биофизика. – 2007. – Т. 52, вып. 4. – С. 760-768.
- Гончаров А.Н., Елизаров Е.Я. К моделированию взаимоотношений типа хищник–жертва // Математическая теория биологических процессов. Тезисы докладов I-ой конференции (27 июня – 4 июля 1976 г.). – Калининград: АН СССР, 1976. – С. 102-103.
- Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: Изд. СССР-США СП "ParaGraph", 1990. – 160 с.
- Горбань А.Н. Функции многих переменных и нейронные сети // Соросовский образов. журн. – 1998. – № 12. – С. 105-112.
- Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н. Нейроинформатика. – Новосибирск: Наука, 1998. – 296с.
- Горбань А.Н., Охонин В.А., Садовский М.Г., Хлебопрос Р.Г. Простейшее уравнение математической экологии. Препринт ИЛИД СО АН СССР. – Красноярск, 1982. – 38 с.
- Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.
- Горбань А.Н., Садовский М.Г. Оптимальные стратегии пространственного распределения и эффект Олли // Журн. общ. биол. – 1989. – Т. 49, № 1. – С. 16-21.
- Горбань А.Н., Хлебопрос Р.Г. Демон Дарвина. Идея оптимальности и естественный отбор. – М.: Наука, 1988. – 180 с. – <http://angbiology.narod.ru/pdf/dem.pdf>.
- Гордягин А.Я. Биометрические исследования над *Chrysanthemum sibiricum* (DC.) // Труды Общ-ва естествоисп. при Императорском Казанском ун-те. – 1907. – Т. XL, вып. 5. – С. 1-41.
- Горелов А.А. Концепции современного естествознания. – М.: Центр, 1997. – 208 с.
- Горобец Б.С. Мировые константы π и e в основных законах физики и физиологии // Наука и жизнь. – 2004. – № 2. – С. 64-69.
- Горская Т.Г., Антонова Н.Д., Янтурин С.И. О ценотической роли люцерны синегридной и клевера красного в сложной травосмеси // Тезисы Всесоюзного совещания по проблемам агрофитоценологии и агробиогеоценологии. – Ижевск: Удмурт. ун-т, 1981. – С. 159-160.
- Горская Т.Г., Григорьев И.Н., Макулова Н.Н., Янтурин С.И. О некоторых закономерностях сукцессии в травосмесях // Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии. – Уфа: БФАН СССР, 1987. – С. 140-155.
- Горский Д.П. Операциональные определения и операционализм П. Бриджмена // Вопр. философии. – 1971. – № 6. – С. 101-111.
- Горстко А.Б. О построении имитационной модели Азовского моря // Математические модели морских экологических систем. – Киев: Наук. думка, 1974. – С. 18-20.

- Горстко А.Б.** Имитационная система «Азовское море» // Труды ВНИРО. – 1976. – Т. 118. – С. 48-55.
- Горстко А.Б.** Имитационное моделирование // Изв. СКНЦ ВШ. Естеств. науки. – 1977. – № 2. – С. 12-20.
- Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Задорожная Н.С. и др.** Имитационное моделирование экосистемы оз. Байкал и ее антропогенных изменений // Модели природных систем. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 65-85.
- Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Сурков Ф.А.** Модели управления эколого-экономическими системами. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
- Горстко А.Б., Эпштейн Л.В.** Имитационная система «Азовское море» – инструмент анализа и прогнозирования // Математическое моделирование водных экологических систем. – Иркутск: Иркут. ун-т, 1978. – С. 47-58.
- Горшков В.Г.** Структура биосферных потоков энергии // Бот. журн. – 1980. – Т. 65, № 11. – С. 1579-1590.
- Горшков В.Г.** Устойчивость биогеохимических круговоротов // Экология. – 1985. – № 2. – С. 3-12.
- Горшков В.Г.** Пределы устойчивости окружающей среды // Докл. АН СССР. – 1988. – Т. 301, № 4. – С. 1015-1019.
- Горяченко В.Д.** К исследованию динамики системы «хищник–жертва» как объекта с запаздыванием // Динамика биологических популяций. Межвузовский сборник. – Горький: Изд-во ГГУ, 1982. – С. 63-71.
- Горяченко В.Д., Иванов Б.Н.** Исследование устойчивости системы «хищник–жертва» как объекта с запаздыванием // Динамика систем. Межвузовский сборник. – Горький: Изд-во ГГУ, 1975. – Вып. 6. – С. 136-144.
- Грайм Д.П.** Классификация растительности по соотношению стратегий / Пер. с англ. Г.С. Розенберга // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Четвертые Любимцевские чтения). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2005. – С. 48-58.
- Грейг-Смит П.** Количественная экология растений. – М.: Мир, 1967. – 359 с.
- Гренджер К., Хатанака М.** Спектральный анализ временных рядов в экономике. – М.: Статистика, 1972. – 167 с.
- Греченкова О.** [Рецензия] // Газ. "Зеленый мир". – 2004. – № 23-24. – С. 18. – Розенберг Г.С. Лики экологии. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2004. – 224 с.
- Грин А.М., Кибзун А.П.** Тенденции в математическом моделировании геосистем // Изв. АН СССР. Сер. географ. – 1984. – № 5. – С. 136-145.
- Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н.** Математическое моделирование в экологии: Учебное пособие. – М.: ЮНИТИ-Дана, 2003. – 269 с.
- Гринченко С.Н.** Иерархия природных систем, их целенаправленное поисковое поведение и проблема идеальности // Проблема идеальности в науке. – М.: АСМИ, 2000. – С. 222-229.
- Гринченко С.Н.** Системная память живого (как основа его метаэволюции и периодической структуры). – М.: ИПИ РАН; Мир, 2004. – 512 с. – <http://www.ipiran.ru/grinchenko/text.shtml>.
- Гроф С.** За пределами мозга. – М.: ИТП, 1993. – 498 с.
- Гроф С.** Ньютоно-картезианское зачатие механистической науки // URL. – http://anthropology.rchgi.spb.ru/groff/groff_t2.htm.
- Груздев В.В.** Анализ прогнозов численности полевых мышевидных грызунов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1980. – Т. 85, № 1. – С. 25-30.

- Групповое поведение животных / Доклады участников II Всесоюзной конференции по поведению животных / Отв. ред. Б.П. Мантейфель. – М.: Наука, 1976. – 452 с.
- Гуламов М.И. Об одной имитационной модели типа хозяин–паразит // Изв. АН СССР, сер. биол. – 1982. – № 6. – С. 836-842.
- Гуламов М.И., Мухитдиннов С.Н., Пасеков В.П. Некоторые вопросы прогнозирования динамики численности насекомых с помощью имитационного моделирования // Журн. общ. биол. – 1987. – Т. 48, № 6. – С. 839-844.
- Гуламов М.И., Пасеков В.П. Имитационная модель системы паразит хозяин (паразит – озимая совка). – М.: ВЦ АН СССР, 1985. – 44 с.
- Гульдин А.Н. Оптимизационные модели и имитация на ЭВМ поведения эпипелагических рыб: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1980. – 22 с.
- Гуляев Ю.В., Крапивин В.Ф., Букатова И.Л. На пути к эволюционной информатике // Вестн. АН СССР. – 1987. – № 11. – С. 53-61.
- Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 452 с.
- Гумен С.Г., Передняя Т.В. Региональный норматив по водоотведению в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 11. – С. 10-12.
- Гурман В.И. Задачи оптимального управления в технике, экономике, экологии // Оптимальное управление. – М.: Знание, 1978а. – С. 6-23.
- Гурман В.И. Рациональные режимы эксплуатации экосистем // Модели природных систем. – Новосибирск: Наука, 1978б. – С. 7-16.
- Гусятников П.П., Недоступов Э.В., Саранча Д.А. Моделирование популяционных циклов с помощью индивидуально ориентированной модели // Исследование операций (модели, системы, решения). – М.: ВЦРАН, 2006. – С. 51-59.
- Дажо Р. Основы экологии. – М.: Прогресс, 1975. – 415 с.
- Данилов Ю.А. Красота фракталов // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – С. 186-190.
- Данилов Ю.А., Кадомцев Б.Б. Что такое синергетика? // Нелинейные волны. Самоорганизация. – М.: Наука, 1983. – С. 30-43. [Данилов Ю.А. Прекрасный мир науки. – М.: Прогресс-Традиция, 2008. – С. 130-142.].
- Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. Учебное пособие. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 416 с.
- Дарвин Ч. Сочинения. – М.:Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – Т. 3. – 832 с.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Индивидуально-ориентированный подход в экологии: Международное совещание "Индивидуально-ориентированный подход в экологии (допущения, достижения, перспективы)", Миколайки, 27-31 мая, 1996 // Журн. общ. биол. – 1997. – Т. 58, № 1. – С. 139-142.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. – М.: Наука, 2001. – 276 с.
- Дегерменджи А.Г. Смешанные проточные культуры микроорганизмов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 106 с.
- Дегерменджи А.Г. Механизмы и критерий сосуществования взаимодействующих микробных популяций в проточных системах (гомогенных и пространственно разделенных) // Экологический прогноз. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – С. 57-69.
- Дегерменджи А.Г., Гладышев М.И. Природные воды, математические модели // Вестн. РАН. – 1995. – Т. 65, № 9. – С. 807-810.
- Дегерменджи А.Г., Кокова В.Е. Анализ в системе мочевины–хлорелла–коловатки в двухступенчатом хемостате. – Препринт 182-Б Ин-та биофизики СО РАН. – Красноярск, 1992. – 31 с.

- Дегерменджи А.Г., Косолапова Л.Г.** Биофизический подход к исследованию экосистем больших рек Сибири (мониторинг, эксперимент, модели) // Экологическая безопасность реки Лены: мониторинг, природные и техногенные катаклизмы: Республиканская научно-практическая конференция, Якутск, 23 ноября, 2001. Материалы конференции. – Якутск: СО РАН, **2001**. – С. 3-10.
- Дегерменджи А.Г., Косолапова Л.Г., Белолипецкий В.М.** Математическое моделирование динамики и гидрофизических характеристик речных систем (р. Енисей) // Сиб. экол. журн. – **1996**. – № 3. – С. 423-483.
- Дегерменджи А.Г., Печуркин Н.С., Шкидченко А.Н.** Аутостабилизация факторов, контролирующих рост в биологических системах. – Новосибирск: Наука, **1979**. – 143 с.
- Дегерменджи А.Г., Терсков И.А.** Новый способ классификации взаимодействий в смешанных культурах // Докл. АН СССР. – **1984**. – Т. 226, № 3. – С. 746-749.
- Дегерменджи Н.Н., Дегерменджи А.Г.** Кинетика роста бактериопланктона на почвенных экстрактах Красноярского водохранилища и математическое моделирование // Изв. СамНЦ РАН. – **2009**. – Т. 11, № 1 (7). – С. 1440-1444.
- Дедю И.И.** Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев: Молдав. сов. энциклоп., **1990**. – 408 с.
- Делоне Б.Н., Рышков С.С.** Решение задачи о наименее плотном покрытии четырехмерного пространства равными сферами // Докл. АН СССР. – **1963**. – Т. 152, № 3. – С. 523-524.
- Деменков Н.П., Матвеев В.А.** Нечеткие системы экологического мониторинга и управления // Экологические системы и приборы. – **2003**. – № 11. – С. 3-7.
- Демьянков В.З.** Интерпретация, понимание и лингвистические аспекты их моделирования на ЭВМ – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1989**. – 172 с.
- Денисова А.В., Акьюлова З.Р.** Экспериментальное обоснование низкой чувствительности метода классификации растительности по Браун-Бланке к размеру пробной площадки // Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии. – Уфа: БФАН СССР, **1987**. – С. 89-94.
- Джансеитов К.К., Кузьмичев В.В., Кибардин Ю.В.** Конкуренция и периодичность процесса прироста леса // Докл. АН СССР. – **1976**. – Т. 226, № 3. – С. 695-697.
- Джансеитов К.К., Кузьмичев В.В., Черкашин В.П.** Пространственная и временная периодичность процесса прироста леса // Докл. АН СССР. – **1978**. – Т. 239, № 1. – С. 245-248.
- Дженкинс Г., Ваттс Д.** Спектральный анализ и его применения. Т. 1. – М.: Мир, **1971**. – 316 с.
- Джеффферс Д.** Введение в системный анализ. Применение в экологии. – М.: Мир, **1981**. – 256 с.
- Джохадзе Д.В., Стяжкин Н.И.** Введение в историю западноевропейской средневековой философии. – Тбилиси: Ганатлеба, **1981**. – 315 с.
- Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов Н.В.** Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: Машиностроение, **2004**. – 397 с.
- Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв. Имитационная модель ROMUL: Учебно-методическое пособие / Чертов О.Г., Комаров А.С., Надпорожская М.А. и др. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, **2007**. – 96 с.
- Диоген Лаэртский.** О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. – М.: Мысль, **1979**. – 620 с.
- Дмитриев Е.А.** Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, **1972**. – 320 с. (стереотип. переизд. **1995** и **2000** гг.).

- Домбровский Ю.А., Ильичев В.Г., Остроух В.Н.** Математические аспекты исследования биотического круговорота озера Байкал // Проблемы экологии Прибайкалья. – Иркутск: ИГУ, **1979**. – С. 148-149.
- Домбровский Ю.А., Ильичев В.Г., Селюгин В.В., Сурков Ф.А.** Теоретические и прикладные аспекты моделирования первичной продуктивности водоемов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, **1990**. – 176 с.
- Дональд С.** Конкуренция за свет у сельскохозяйственных культур и пастбищных растений // Механизмы биологической конкуренции. – М.: Мир, **1964**. – С. 355-394.
- Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, **1973**. – 392 с.
- Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд. – М.: Вильямс; Диалектика, **2007**. – 912 с.
- Дружинин В.Н.** Структура и логика психологического исследования. – М.: ИПРАН, **1994**. – 163 с.
- Дунин-Барковский В.Л.** Информационные процессы в нейронных структурах. – М.: Наука, **1978**. – 165 с.
- Дьяконов В.П.** Язык программирования Лого. – М.: Радио и связь, **1991**. – 144 с.
- Дэйвисон М.** Многомерное шкалирование. Методы наглядного представления данных. – М.: Финансы и статистика, **1988**. – 348 с.
- Евланов И.А., Розенберг Г.С.** Еще раз о статистическом анализе пространственной структуры популяций гельминтов // Паразитология. – **1992**. – Т. 26, вып. 6. – С. 475-478.
- Егоршин О.О., Лисовой М.В.** Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. – Харків: Вид, **2005**. – 324 с.
- Емельянов В.В., Ясиновский С.И.** Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. – М.: Изд-во АНВИК, **1998**. – 427 с.
- Епланова Г.В.** Таксономический состав, экология и охрана настоящих ящериц (Lacertidae) Среднего Поволжья: Дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, **2005а**. – 193 с.
- Епланова Г.В.** Особенности репродуктивной биологии живородящей ящерицы *Zootoca vivipara* в Среднем Поволжье // Актуальные проблемы герпетологии и токсинологии: Сборник научных трудов. Вып. 8. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2005б**. – С. 25-29.
- Епланова Г.В., Бакиев А.Г., Лысенко Т.М.** О распространении и распределении разноцветной ящурки *Eremias arguta* (Pallas, 1773) в Среднем Поволжье, особенно в Самарской области // Актуальные проблемы герпетологии и токсинологии: Сб. науч. трудов. Вып. 5. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2001**. – С. 50-56.
- Ермаков С.М.** Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука, **1971**. – 328 с.
- Ермолаева Н.С.** Из отечественной истории математической биологии // Историко-математические исследования: Вторая серия. – М.: Янус-К, **2002**. – Вып. 8 (43). – С. 49-75.
- Есенин-Вольпин А.С.** Об аксиоматическом методе // Вопр. философии. – **1959**. – № 7. – С. 121-126.
- Еськов В.М.** Введение в компартментную теорию респираторных нейронных сетей. – М.: Наука, **1994**. – 168 с.
- Еськов В.М.** Возможно ли построение некоторой общей, фундаментальной теории организации и функционирования биосистем? // Вестн. новых мед. технологий. – **2001**. – Т. 8, № 2. – С. 93-95.
- Еськов В.М.** Компартментно-кластерный подход в исследованиях биологических динамических систем (БДС). Ч. 1. Межклеточные взаимодействия в нейрогенераторных и биомеханических кластерах. – Самара: Изд-во «НТЦ», **2003**. – 198 с.

- Еськов В.М.** Место компартментно-кластерного подхода в развитии современных концепций экологии // Экол. вестн. Югории. – 2004. – Т. 1, № 1-2. – С. 7-15.
- Еськов В.М.** Системная экология в прогнозах развития человечества при переходе в постиндустриальное общество // Экол. вестн. Югории. – 2008. – Т. 5, № 3. – С. 4-11.
- Еськов В.М., Ведясова О.А., Филатова О.Е.** Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих. – Самара: Офорт, 2005. – 198 с.
- Еськов В.М., Хадарцева Г.А., Попов Ю.М., Филатова О.Е.** Основные законы и противоречия синергетики в экологии и общей теории познания мира // Экол. вестн. Югории. – 2007. – Т. 4, № 2/3. – С. 4-16.
- Ефимов В.М.** О некоторых коэффициентах межвидовой сопряженности // Изв. СО АН СССР, сер. биол. – 1976. – № 10, вып. 2. – С. 131-136.
- Ефимов В.М., Галактионов Ю.К.** О возможности прогнозирования циклических изменений численности млекопитающих // Журн. общ. биол. – 1983. – Т. 44, № 3. – С. 343-352.
- Ефремов И.В.** Моделирование почвенно-растительных систем. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 152 с.
- Ефремов И.В.** Биофизический мониторинг и экологический статус систем «почва-растение» при антропогенном воздействии. – Н. Новгород: Изд-во ВГИПУ, 2011. – 248 с.
- Жаботинский А.М.** Концентрационные автоколебания. – М.: Наука, 1974. – 179 с.
- Жариков В.В.** Концепция природно-технического каскадного комплекса экосистем Волжских водохранилищ // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 2. Тез. докладов Междунар. конф. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998. – С. 15-17.
- Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Быкова С.В. и др.** Протисты и бактерии озер Самарской области. – Тольятти: Кассандра, 2009. – 240 с.
- Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В. и др.** Экология сообществ бактерий и свободноживущих инфузорий малых водоемов Самарской Луки. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. – 193 с.
- Жданова Н.П.** Анализ фенотипической изменчивости при оптимальных и неоптимальных условиях развития в эксперименте и в природных условиях на примере прыткой ящерицы (*Lacerta agilis* L.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2003. – 23 с.
- Животовский Л.А.** Меры популяционной изменчивости комплекса количественных признаков // Журн. общ. биол. – 1980а. – Т. 41, № 2. – С. 171-191.
- Животовский Л.А.** Показатели внутривидовой изменчивости // Журн. общ. биол. – 1980б. – Т. 41, № 6. – С. 828-836.
- Животовский Л.А.** Популяционная биометрия. – М.: Наука, 1991. – 215 с.
- Жигальский О.А.** Исследование влияния внешних и внутренних факторов на динамику популяции. Имитационное моделирование // Журн. общ. биол. – 1984. – Т. 65, № 4. – С. 450-455.
- Жигальский О.А.** Десятая международная конференция о состоянии экологического моделирования (ISEM'95) // Экология. – 1996. – № 3. – С. 240.
- Жижин Г.В.** Саморегулируемые волны химических реакций и биологических популяций. – СПб.: Наука, 2004. – 163 с.
- Жизнь китообразных // Кит. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 62-75. – http://www.internevod.com/rus/academy/sci/05/jiz_kit.shtml.
- Жирмунский А.В., Кузьмин В.И.** Критические уровни в видовой структуре донных сообществ на примере беспозвоночных животных залива Восток (Японское море) // Биология моря. – 1983. – № 2. – С. 3-15.

- Жирмунский А.В., Кузьмин В.И.** Критические уровни в развитии природных систем. – Л.: Наука, 1990. – 223 с.
- Жирмунский А.В., Кузьмин В.И., Яблоков А.В.** Критические уровни развития популяционных систем // Журн. общ. биол. – 1981. – Т. 42, № 1. – С. 19-37.
- Жукова Л.А., Комаров А.С.** Поливариантность онтогенеза и динамика ценопопуляций растений // Журн. общ. биол. – 1990. – Т. 51, № 4. – С. 450-461.
- Жукова Л.А., Комаров А.С.** Количественный анализ динамической поливариантности в ценопопуляциях подорожника большого при разной плотности посадки // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. – 1991. – № 8. – С. 51-67.
- Жуковский П.М.** Ботаника. – М.: Колос, 1982. – 623 с.
- Журавлев В.Б.** Зоогеографический анализ ихтиофауны Алтайского края с использованием теории нечетких множеств // Изв. Алтайс. гос. ун-та. – 1999. – № 5 (спец. выпуск). – С. 55-59.
- Завальский Л.** Почему щука догонит карася. – 2009. – <http://www.inauka.ru/animals/article36687.html>.
- Заварзин Г.А.** Несовместимость признаков и теория биологической системы // Журн. общ. биол. – 1969. – Т. 30, № 1. – С. 33-41.
- Заварзин Г.А.** Фенотипическая систематика бактерий. Пространство логических возможностей. – М.: Наука, 1974. – 142 с.
- Заде Л.** Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 5-49.
- Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с. (Математика. Новое в зарубежной науке. Вып. 3).
- Задорожная Н.С., Сурков Ф.А.** Анализ динамики популяции байкальского омуля с учетом стохастических факторов // Проблемы экологии Прибайкалья: Тезисы докладов к республиканскому совещанию. Иркутск, 10-13 сентября 1979 г. II. Экологогенетические вопросы функционирования природных экосистем. III. Математическое моделирование экосистем и популяций. – Иркутск: Изд-во Иркут. госуниверситета, 1979. – С. 119-121.
- Зайцев Г.Н.** Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
- Зайцев Г.Н.** Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
- Зайцев Г.Н.** Математический анализ биологических данных. – М.: Наука, 1991. – 183 с.
- Закс Л.** Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- Заславский Б.Г.** Хаос в популяции // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 258, № 3. – С. 533-536.
- Заславский Б.Г.** Динамика численности управляемых популяций // Автоматика и телемеханика. – 1983. – № 2. – С. 71-80.
- Заславский Б.Г.** Математические модели процессов управления биологическими системами: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Л., 1984. – 317 с.
- Заславский Б.Г., Полуэктов Р.А.** Управление экологическими системами. – М.: Наука, 1988. – 296 с. (Сер. Теория и методы системного анализа, Вып. 23).
- Заславский Б.Г., Неусыпина Т.А., Полуэктов Р.А.** Имитационный метод программирования урожая // Докл. ВАСХНИЛ. – 1978. – № 7. – С. 16-19.
- Захаров В.М.** Асимметрия животных. – М.: Наука, 1987. – 161 с.
- Захаров В.М.** Здоровье среды: концепция. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 30 с.

- Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др.** Здоровье среды: методика оценки. – М.: Изд. Центра экол. политики России, **2000а**. – 66 с.
- Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., Пронин А.В.** Методология оценки здоровья среды // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. – М.: Наука, **2007**. – С. 78-86.
- Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др.** Здоровье среды: практика оценки. – М.: Изд. Центра экол. политики России, **2000б**. – 318 с.
- Звегинцев В.А.** Предложение и его отношение к языку и речи. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1976**. – 305 с.
- Зернов С.А.** Общая гидробиология. – М.; Л.: Биомедгиз, **1934**. – 504 с.
- Зилов Е.А.** Экологическое моделирование в оценке функционирования водных экосистем в условиях антропогенной нагрузки (на примере оз. Байкал): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., **2004а**. – 44 с.
- Зилов Е.А.** Использование эксэргии для оценки здоровья водных экологических систем // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. – Новосибирск: Наука, **2004б**. – С. 22-40.
- Зилов Е.А.** Математическое моделирование экосистемы озера Байкал: вчера, сегодня, завтра // Изв. СамНЦ РАН. – **2006а**. – Т. 8, № 1. – С. 58-69.
- Зилов Е.А.** Возможность использования целевых функций для оценки «здоровья» водных экологических систем: эксэргия // Сиб. экол. журн. – **2006б**. – № 3. – С. 269-284.
- Зилов Е.А.** Анализ и прогноз изменений водных экосистем на основе модельных экспериментов. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, **2010**. – 231 с.
- Зинченко Т.Д., Макаренченко М.А., Макаренченко Е.А.** Новый вид рода *Cricotopus* van der Wulp (Diptera, Chironomidae) из солёной реки бассейна озера Эльтон (Волгоградская область, Россия) // Евразийский энтомолог. журн. – **2009**. – Т. 8, прил. 1. – С. 83-88.
- Зинченко Т.Д., Шитиков В.К.** Гидробиологический мониторинг как основа типологии малых рек Самарской области // Изв. СамНЦ РАН. – **1999**. – Т. 1, № 1. – С. 118-127.
- Зорина А.А.** Нормальная изменчивость флуктуирующей асимметрии животных и растений: Дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, **2009**. – 184 с.
- Зорина А.А., Коросов А.В.** Изменчивость показателей и индексов асимметрии признаков листа в кроне *Betula pendula* (Betulaceae) // Ботан. журн. – **2009**. – Т. 94, № 8. – С. 1172-1192.
- Зорина О.В., Зинченко Т.Д.** Новый вид рода *Tanytarsus* van der Wulp (Diptera, Chironomidae) из солёной реки бассейна озера Эльтон (Волгоградская область, Россия) // Евразийский энтомолог. журн. – **2009**. – Т. 8, прил. 1. – С. 105-110.
- Зотина Р.С., Зотин А.И.** Взгляды Э.С. Бауэра и теоретическая биология // Изв. РАН, сер. биол. – 1993. – № 5. – С. 784-785.
- Зубаков И.В.** Моделирование почвенно-растительных систем. – М.: Изд-во ЛКИ, **2008**. – 152 с.
- Зубаков И.В.** Биофизический мониторинг и экологический статус систем «почва-растение» при антропогенном воздействии. – Н. Новгород: Изд-во ВГИПУ, **2011**. – 248 с.
- Зубер И.Е., Колкер Ю.И., Полуэктов Р.А.** Управление численностью и возрастным составом популяций // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, **1972**. – Вып. 25. – С. 129-138.
- Зюбин В.Е.** Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: Учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГУ, **2006**. – 96 с.

- Ибрагимов Н.Х.** Группы преобразований в математической физике. – М.: Наука, **1983**. – 280 с.
- Иваницкий Г.Р.** XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики // Успехи физ. наук. – **2010**. – Т. 180, № 4. – С. 337-369.
- Иваницкий Г.Р., Есипова Н.Г., Абагян Р.А., Шноль С.Э.** Блочное совершенствование генетического текста как фактор ускорения биологической эволюции // Биофизика. – **1986**. Т. 30, № 3. – С. 418-421.
- Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А.** От беспорядка к упорядоченности – на примере движения микроорганизмов // Успехи физ. наук. – **1991**. – Т. 161, № 4. – С. 13-71.
- Иванова А.В., Розенберг Г.С., Саксонов С.В.** Опыт количественного анализа флористического разнообразия и флористической структуры Самарской Луки // Экология. – **2006**. – № 5. – С. 332-339.
- Иванова Н.С., Быстрой Г.П., Ермакова М.В., Лыков И.А.** Применение метода Хёрста для анализа особенностей роста *Pinus sylvestris L.* в лесных культурах // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, **2010**. – С. 220-223. – <http://www.agrophys.ru/upload/poluektov/sbornik.pdf>.
- Ивантер Э.В.** Основы практической биометрии. Введение в статистический анализ биологических явлений / Учебное пособие. – Петрозаводск: Карелия, **1979**. – 96 с.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В.** Основы биометрии. Введение в статистический анализ биологических явлений и процессов / Учебное пособие. – Петрозаводск: ПетрГУ, **1992**. – 164 с.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В.** Введение в количественную биологию – Петрозаводск: ПетрГУ, **2003**. – 304 с.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В.** Элементарная биометрия / Учебное пособие. – Петрозаводск: ПетрГУ, **2005**. – 104 с.
- Ивахненко А.Г.** Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. – Киев: Техника, **1969**. – 392 с.
- Ивахненко А.Г.** Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – Киев: Техника, **1971**. – 372 с.
- Ивахненко А.Г.** Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – Киев: Техника, **1975**. – 311 с.
- Ивахненко А.Г.** Комбинированные имитационно-индуктивные методы моделирования экологических систем // Автоматика. – **1979**. – № 5. – С. 8-18.
- Ивахненко А.Г.** Моделирование водных экологических систем // Гидробиол. журн. – **1980**. – Т. 16, № 3. – С. 12-21.
- Ивахненко А.Г.** Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наук. думка, **1982**. – 296 с.
- Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д.** Принятие решений на основе самоорганизации. – М.: Сов. радио, **1976**. – 280 с.
- Ивахненко А.Г., Копа Я.Б., Тодуа М.М., Петраке В.** Метод математического моделирования сложных экологических систем // Автоматика. – **1971**. – № 4. – С. 20-34.
- Ивахненко А.Г., Кротов Г.И., Чеберкус В.И.** Многорядный алгоритм самоорганизации долгосрочных прогнозов (на примере экологической системы оз. Байкал) // Автоматика. – **1980**. – № 4. – С. 28-47.

- Ивахненко А.Г., Лапа В.Г.** Предсказание случайных процессов. – Киев: Наук. думка, 1971. – 416 с.
- Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П.** Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.: Радио и связь, 1987. – 118 с.
- Ивлев В.С.** Энергетический баланс карпов // Зоол. журн. – 1939. – Т. 18, № 2. – С. 303-318.
- Ивлев В.С.** Экспериментальная экология питания рыб. – М.: Пищ. пр-ть, 1955. – 252 с. (Ivlev V.S. Experimental Ecology of the Feeding of Fishes. – New Haven (CT): Yale Univ. Press, 1961. – 302 p.).
- Измestьева Л.Р., Кожова О.М.** Структура и сукцессии фитопланктона // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 97-129.
- Измestьева Л.Р., Мур М.В., Хэмптон С.Э., Зилов Е.А.** Сезонная динамика массовых родов фитопланктона в озере Байкал // Изв. СамНЦ РАН. – 2006. – Т. 8, № 3. – С. 191-196.
- Израэль Ю.А.** Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 555 с.
- Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Остромогильский А.Х.** и др. Имитационно-балансовая математическая модель режима оз. Байкал как инструмент всестороннего анализа, долгосрочного прогнозирования и определения допустимых нагрузок воздействия народнохозяйственной деятельности на качество окружающей среды и состояние экологических систем // Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды II Советско-американского симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – С. 246-265.
- Ильинский А.П.** Опыт формирования подвижного равновесия в сообществах растений // Изв. Главного бот. сада. – 1921. – Т. 20. – С. 37-49.
- Ильичев В.Г.** Устойчивые экологические структуры в моделях с запаздыванием // Биофизика. – 1982. – Т. 27, № 5. – С. 858-862.
- Ильичев В.Г.** Адаптация параметров в моделях экологических систем // Автоматика и телемеханика. – 1990. – № 6. – С. 102-111.
- Ильичев В.Г.** Устойчивость, адаптация и управление в экологических системах. – М.: Физматлит, 2009. – 192 с.
- Ильичев В.Г., Сурков Ф.А.** Возможные преобразования в экологической системе Азовского моря при сужении гирла Таганрогского залива. Нижние трофические уровни // Гидробиол. журн. – 1987. – Т. 23, № 2. – С. 16-21.
- Имитационная модель экосистемы Азовского моря как средство системного анализа, прогнозирования и управления природно-техническим комплексом: Аннотация / Жданов Ю.А., Ворович И.И., Макаров Н.Н. и др. – Ростов-на-Дону: НИИМиПМ СКНЦ ВШ; АзНИРХ., 1979. – 14 с.
- Институт биологии Уфимского научного центра РАН: Альбом. – Уфа: ООО «Digital Пресс-Центр», 2006. – 34 с.
- Ипатов В.С., Кирикова Л.А.** К вопросу о континууме и дискретности растительного покрова // Ботан. журн. – 1985. – Т. 70, № 7. – С. 885-895.
- Ипатов В.С., Кирикова Л.А.** Фитоценология: Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1997. – 316 с.
- Исаев А.С.** Методологические основы мониторинга биоразнообразия лесов // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России: итоги и перспективы. Материалы научной конференции, посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН (3-5 октября). – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – С. 53-58.

- Исаев А.С., Киселев В.В., Калашников Е.Н. и др.** Геоинформационные системы в прогнозировании и контроле массового размножения лесных насекомых // Лесоведение. – 1999. – № 5. – С. 15-23.
- Исаев А.С., Овчинникова Т.М., Пальникова Е.Н., Суховольский В.Г.** Имитационное моделирование динамики численности сосновой пяденицы при различных климатических сценариях: оценка влияния возможных глобальных изменений климата // Лесоведение. – 1997. – № 4. – С. 40-48.
- Исаев А.С., Столбовой В.С.** Климатические изменения и динамика наземных экосистем России // Изв. СамНЦ РАН. – 2005. – Спец. вып. «Актуальные проблемы экологии». Вып. 4. – С. 108-120.
- Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г.** Эффекты запаздывания в регуляции численности лесных насекомых // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 232, № 6. – С. 1448-1451.
- Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В.** Динамика численности лесных насекомых. – Новосибирск: Наука, 1984. – 223 с.
- Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В. и др.** Популяционная динамика лесных насекомых. – М.: Наука, 2001. – 374 с.
- Исаев С.** Популярно о генетических алгоритмах. – URL. – <http://algotlist.manual.ru/ai/ga/ga1.php>. **Исаева В.В., Касьянов В.Л., А.В. Жирмунский** в нелинейном научном контексте // Вестн. ДВО РАН. – 2005. – № 3. – С. 5-10.
- Исаков Л.Д.** На все времена, для всех народов. Очерки по истории метрической системы. – Петроград: Гл. палата мер и весов, 1923. – 91 с.
- Использование языка R для статистической обработки данных: Учебно-методическое пособие / Сост. Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. – 30 с.
- Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. ГОСТ 24026-80. – М.: Госкомитет СССР по управл. качеств. продукции и стандартам, 1980. – http://hydraulics.at.ua/_ld/0/50_24026-80.pdf.
- Иудин Д.И.** Эффекты направленной перколяции в экологических системах со случайным размножением и распадом // Изв. СамНЦ РАН. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 248-251.
- Иудин Д.И.** Методология принципа самоподобия в исследовании видовой структуры биотических сообществ: Дис. ... докт. биол. наук. – Тольятти, 2006. – 273 с.
- Иудин Д.И., Гелашвили Д.Б.** Применение мультифрактального анализа структуры биотических сообществ в экологическом мониторинге // Проблемы регионального экологического мониторинга: Матер. научн. конфер. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2002. – С. 49-52.
- Иудин Д.И., Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С.** Мультифрактальный анализ видовой структуры биотических сообществ // Докл. Академии наук (ДАН). – 2003. – Т. 389, № 2. – С. 279-282.
- Йоргенсен С.Е.** Управление озерными экосистемами. – М.: Агропромиздат, 1985. – 160 с. (Jørgensen S.E. Lake Management. – Oxford et al.: Pergamon Press, 1980. – 167 p.).
- Кабатянский Г.А., Левенштейн В.И.** О границах для упаковок на сфере и в пространстве // Проблемы передачи информации. – 1978. – Т. 14, № 1. – С. 3-25.
- Каганова О.З.** О динамике трехвидового сообщества с хищником–полифагом // Математическая теория биологических процессов. Тезисы докладов I-ой конференции (27 июня – 4 июля 1976 г.). – Калининград: АН СССР, 1976. – С. 120-122.
- Казанский А.В., Перчук В.Л., Флейшман Б.С.** К вопросу о моделировании некоторых классов сложных экологических систем // Нейробионика. – Киев: Наук. думка, 1974. – С. 16-28.

- Каменцева Е.И., Устюгов Н.В.** Русская метрология. Учеб. пособие. Изд. 2-е. – М.: Высш. шк., 1975. – 328 с.
- Канке В.А.** Философия. Исторический и систематический курс. Электронный учебник. – М.: Логос, 2001. – 118 с.
- Кант И.** Критика чистого разума // Сочинения в шести томах. – М.: Мысль, 1964. – Т. 3. – 799 с. (Kant I. Kritik der reinen Vernunft. 1781).
- Каныгин Ю.И.** Борьба с сорняками в посевах многолетних трав и силосных культур // База данных "Технологии, продукция и услуги". – 2007. (Реферативный номер 1066). – <http://uni.itbu.ru/WWW%5Cserv%5Cserv.nsf/docs/about>.
- Капра Ф.** Дао физики. Исследование параллелей между современной физикой и мистицизмом Востока. – СПб: ОРИС, 1994. – 304 с.
- Карманова И.В., Иванилов Ю.П.** Применение математических методов при изучении роста растений // Количественные методы анализа растительности – II. – Рига: Латв. ун-т, 1971. – С. 134-138.
- Карпов Д.Н.** Ассоциации солонцеватых степей Башкирского Предуралья // Фитоценология антропогенной растительности. – Уфа, Башкир. ун-т, 1985. – С. 124-132.
- Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование на AnyLogic 5. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 148 с.
- Карпов Ю.Г.** Моделирование агентов – новая парадигма в имитационном моделировании. – URL. – <http://mas.exponenta.ru/files/npo/texts/karpov.pdf>.
- Кастрикин Н.Ф.** Теоретическая биология: специальность, время которой пришло // Вестн. АН СССР. – 1979. – № 7. – С. 67-68.
- Катенин А.Е.** Памяти Бориса Николаевича Норина (16.12.1924-31.08.2000) // Ботан. журн. – 2001. – Т. 86, № 5. – С. 152-153.
- Кафанов А.И.** Континуальность и дискретность геомериды: биономический и биотический аспекты // Журн. общ. биол. – 2005. – Т. 66, № 1. – С. 25-54.
- Кафанов А.И.** Континуальность и дискретность живого покрова: проблема масштаба // Журн. общ. биол. – 2006. – Т. 67, № 4. – С. 311-313.
- Кафанов А.И., Кудряшов В.А.** Выдающиеся ученые-биогеографы: библиографический справочник. – М.: Наука, 2007. – 308 с.
- Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Гурьева Л.В.** Оптимизация теплообменных процессов и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
- Кашапов Р.Ш., Миркин Б.М., Мухаметшина В.С.** Степи Тэвшрулех (Опыт количественного анализа) // Статистические методы классификации растительности и оценка её связи со средой. – Уфа: БФАН СССР, 1975. – С. 38-167.
- Кельтон В.Д., Лоу А.М.** Имитационное моделирование / Серия: Классика Computer Science. 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург; ПИТЕР (Издательский дом), 2004. – 847 с.
- Кемени Дж., Снелл Дж.** Конечные цепи Маркова. – М.: Наука, 1970. – 272 с.
- Кемени Дж., Снелл Дж.** Кибернетическое моделирование. – М.: Сов. радио, 1972. – 192 с.
- Кибзун А.П.** Выживаемость сообщества, потребляющего ограниченный ресурс // Экономические проблемы Мирового океана. – Одесса: Одес. отд. Ин-та экон. АН УССР, 1977. – С. 23-26.
- Кибзун А.П.** Значение интенсивности добычи и усвоения ресурсов для динамики популяций и конкуренции биологических видов // Биогеофизические и математические методы исследования геосистем. – М.: Ин-т геогр. АН СССР, 1978. – С. 181-189.
- Кибзун А.П.** Оптимизационные модели использования ограниченных ресурсов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1983. – 22 с.

- Кирсанов А.Т.** Теория Митчерлиха, её анализ и практическое применение. – М.; Л.: Сельхозгиз, **1930**. – 200 с.
- Киселёв Б.В., Марков Ю.Г.** Красота фракталов: какова её цена? // **2005**. – <http://rfrbr.upe.ru/pdf/1-05p.pdf>.
- Киселёв В.В., Хлебопрос Р.Г.** Математическая модель динамики численности популяций ксилофагов и энтомофагов // Математическая теория биологических процессов. Тезисы докладов I-ой конференции (27 июня – 4 июля 1976 г.). – Калининград: АН СССР, **1976**. – С. 129-131.
- Киселенко А.** Введение в экспертные системы (обзор) // Вестн. ИБ Коми НЦ УрО РАН. – **2000**. – Вып. 7 (33). – С. 5-6. – <http://www.ib.komisc.ru/t/ru/ir/vt/00-33/02.htm>.
- Клеванный К.А., Матвеев Г.В.** Справочник пользователя программы CARDINAL. – СПб.: Невский Курьер, **1994**. – 72 с.
- Клеванный К.А., Матвеев Г.В.** Моделирование воздействия гидроэлектрических сооружений на гидрологический режим восточной части Финского залива с помощью программной системы CARDINAL // Международный научно-практический симпозиум "Финский залив – 96". – СПб.: Балтвод, **1996**. – С. 51-58.
- Клейнен Дж.** Статистические эксперименты в имитационном моделировании. – М.: Статистика, **1978**. – Т. 1. – 221 с.
- Клочкова И.Н.** Обобщение теоремы о репродуктивном потенциале для матриц Логофета // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. – **2004**. – № 3. – С. 45-48.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.** Синергетическое расширение антропоного принципа // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс-Традиция, **2000**. – С. 80-106.
- Кожара А.В.** Структура показателя флуктуирующей асимметрии σ_d^2 и его пригодность для популяционных исследований // Биол. науки. – **1985**. – № 6. – С. 100-103.
- Кожов М.М.** К познанию фауны Байкала, её распределения и условий обитания // Изв. Биол.-геогр. НИИ при Иркутском госуниверситете, **1931**. – Т. 5, вып. 1. – С. 3-177.
- Кожов М.М.** Биология озера Байкал. – М.: Изд-во АН СССР, **1962**. – 315 с.
- Кожова О.М., Кузеванова Е.Н., Помазкова Г.И.** Математическая модель роста популяции *Epischura baicalensis* Sars. озера Байкал // Проблемы экологии Прибайкалья: Тезисы докладов к республиканскому совещанию. Иркутск, 10-13 сентября 1979 г. II. Эколого-генетические вопросы функционирования природных экосистем. III. Математическое моделирование экосистем и популяций. – Иркутск: Изд-во Иркутс. госуниверситета, **1979**. – С. 129-131.
- Кожова О.М., Мельник Н.Г.** К вопросу цикличности процессов многолетних колебаний биомассы зоопланктона в оз. Байкал // Гидробиол. журн. – **1977**. – Т. 13, № 1. – С. 36-39.
- Козлов А.П.** Принцип сохранения в системе молекулярно-биологических законов // Теоретическая биология: структурно-функциональный подход. Межвуз. сб. / Под ред. С.Г. Инге-Вечтомова. – Л.: Изд. Ленингр. ун-та, **1988**. – С. 4-21. – (Труды Ленинград. об-ва естествоиспыт. Т. 87. Вып. 1).
- Козлов М.В.** Стабильность развития: мнимая простота методики (о методическом руководстве «Здоровье среды: методика оценки») // Заповедники и Национальные парки. – **2001**. – № 36. – С. 23-27.
- Козлов М.В.** Мнимые повторности (pseudoreplication) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // Журн. общ. биол. – **2003**. – Т. 64, № 4. – С. 292-307.

- Козлов М.В., Хёлберт С.Х.** Мнимые повторности, бесплодные дискуссии и интернациональная сущность науки: ответ Д.В. Татарникову // Журн. общ. биол. – 2006. – Т. 67, № 2. – С. 145-152.
- Козырев А.Н.** Рынок программного обеспечения в СССР, лицензионные и авторские договоры, цены // Мир ПК. – 1989. – № 3. – С. 38-45. – <http://www.exponenta.ru>.
- Колесов А.Ю., Колесов Ю.С.** Релаксационные колебания в математических моделях экологии. – М.: Наука, 1993. – 125 с.
- Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Имитационное моделирование сложных динамических систем. – URL. – http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp.
- Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Моделирование систем. Практикум по компьютерному моделированию (+ CD-ROM) – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 352 с.
- Колесов Ю.С.** Математические модели экологии // Исследования по устойчивости и теории колебаний. – Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 1979. С. 3-40.
- Колесов Ю.С.** Свойства решений одного класса уравнений с запаздыванием, описывающих динамику изменения численности вида с учетом возрастной структуры // Матем. сб. – 1982. – Т. 117 (159), № 1. – С. 86-94.
- Колесов А.Ю., Колесов Ю.С.** Релаксационные колебания в математических моделях экологии. – М.: Наука, 1993. – 126 с. (Труды МИРАН. Т. 199).
- Колесов Ю.С., Швирта Д.И.** Автоколебания в системах с запаздыванием. – Вильнюс: Моклас, 1979. – 148 с.
- Количественные методы экологии и гидробиологии (Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова) / Отв. ред. Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 404 с.
- Колищук В.Г.** Динамика прироста горной сосны (*Pinus mughus* Scop.) в связи с солнечной активностью // Докл. АН СССР. – 1966. – Т. 167, №3. – С. 710-713.
- Колмогоров А.Н.** Качественное изучение математических моделей динамики популяций // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1972. – Вып. 25. – С. 101-106.
- Колмогоров А.Н.** Автоматы и жизнь // Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения. Итоги развития. – М.: Наука, 1979. – С. 10-29.
- Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С.** Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества вещества и его применение к одной биологической проблеме // Бюлл. Моск. ун-та. Секция А. Математика и механика. – 1937. – Т. 1, вып. 6. – С. 1-26. (Вопросы кибернетики. – М.: Наука, 1975. – Вып. 12. – С. 3-24).
- Колосов Г.** Математическая теория эволюции видов по трудам проф. К. Pearson'a с приложением к исследованиям проф. Н.И. Кузнецова // Протоколы Общ-ва естествоисп. при Юрьевском ун-те. – 1906. – Т. XV, № 2. (Цит. по: Боголюбов А.Г. Столетие биометрии в России // Изв. СамНЦ РАН. – 2002. – Т. 4, № 2 (8). – С. 189-198.).
- Комаров А.С.** Имитационные модели нелинейной динамики сообществ растений: Дис. ... д-ра биол. наук. – Пушкино, 2004. – 389 с.

- Комаров А.С., Кубасова Т.С.** Моделирование динамики органического вещества в хвойно-широколиственных лесах в разных типах местообитаний при пожарах (вычислительный эксперимент) // Изв. РАН, сер. биол. – 2007. – № 4. – С. 1-11.
- Комин Г.Е.** Цикличность лесообразовательного процесса // Лесоведение. – 1993. – №1. – С. 3-9.
- Комин Г.Е.** Экологическая сущность циклической динамики лесов // Экология. – 1981. – № 3. – С.46-53.
- Коммонер Б.** Замыкающийся круг. Природа, человек, технология. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.
- Компанеев А.С.** Симметрия в микро- и макромире. – М.: Наука, 1978. – 208 с.
- Компьютерная биометрика / Ю.М. Барабашева, Г.Н. Девяткова, Н.Г. Микешина и др. – М.: МГУ, 1990. – 232 с.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Лакаса Х., Савиных В.П.** Глобализация и устойчивое развитие: экологические аспекты. Введение. – СПб.: Наука, 2006. – 241 с.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.** Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. – М.: Логос, 2003. – 573 с.
- Кононов К.Е.** Экологические факторы формирования и развития луговых ценозов поймы реки Лены // Экология и ценология лугов Центральной Якутии. – Якутск: ЯГУ, 1978. – С. 7-37.
- Кононов К.Е.** Луга поймы реки Лены (эколого-фитоценотический анализ). – Якутск: Кн. изд-во, 1982. – 216 с.
- Кононов К.Е., Гоголева П.А., Бурцева Е.И.** Сенокосы и пастбища Центральной Якутии. – Якутск: Кн. изд-во, 1979. – 160 с.
- Кононов К.Е., Наумова Л.Г., Розенберг Г.С., Софронеева Т.П.** Опыт использования кластерного анализа для выявления экологических групп видов травянистой растительности поймы р. Лены на территории Олекминского района // Теоретические и методические вопросы изучения лугов Центральной Якутии. – Якутск: ЯГУ, 1976. – С. 72-98.
- Кононов К.Е., Неустроева А.И.** Некоторые закономерности циклической динамики луговых сообществ поймы Средней Лены // Теоретические и методические вопросы изучения лугов Центральной Якутии. – Якутск: ЯГУ, 1976. – С. 99-122.
- Кононов К.Е., Розенберг Г.С.** Количественный анализ мозаичности пойменных лугов // Экология и ценология лугов Центральной Якутии. – Якутск: ЯГУ, 1978. – С. 170-174.
- Кононов К.Е., Розенберг Г.С.** Прогнозирование урожайности аласных сенокосов по гидрометеорологическим факторам методами самоорганизации // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. – 1981. – № 3. – С. 99-104.
- Кононов К.Е., Софронеева Т.П.** Опыт построения классификации пойменных лугов и степей реки Лены с использованием «блок-метода» // Количественные методы анализа растительности. – Уфа: БФАН СССР, 1974. – С. 139-141.
- Константинов Ф.В., Богомолов А.С., Гак Г.М. и др.** Основы марксистско-ленинской философии / 5-е изд. – М.: Политиздат, 1981. – 463 с.
- Кордонский С.Г.** Циклы деятельности и идеальные объекты. – М.: Пантори, 2001. – 176 с.
- Коробов В.Б.** Построение вербально-числовых шкал методом нечетких множеств для оценки состояния природных объектов // Пробл. регион. экол. – 2005. – № 54. – С. 18-22.

- Коросов А.В.** Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. – 212 с.
- Коросов А.В.** Специальные методы биометрии: Учеб. пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 364 с.
- Коростышевский М.А., Эппель М.С.** Степенная зависимость – закон Рубнера – биологический механизм // Журн. общ. биол. – 1979. – Т. 40, № 6. – С. 938-941.
- Корчагин А.А.** Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. – Л.: Наука, 1976. – Т. 5. – С. 7-320.
- Коршунова Л.Н.** Законы сохранения в механике: Закон сохранения импульса. Работа, мощность. Закон сохранения энергии: Пособие по физике (9-10 кл.). – М.: Контур, 2005. – 95 с.
- Коряков П.П., Сушков Б.Г.** Имитация динамических процессов. – М.: Знание, 1978. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. математ., киберн.; вып. 12)
- Косиков Г.К.** «Структура» и/или «текст» (стратегии современной семиотики) // Французская семиотика: От структурализма к постструктурализму. – М.: ИГ "Прогресс", 2000. – С. 3-48.
- Костанца Р.** Четыре образа грядущего столетия: Путь к звездам, Экотопия, Большое правительство или Безумный Макс? // Впереди XXI век: перспективы, прогнозы, футурологи. Антология современной классической прогностики. 1952-1999. – М.: Academia, 2000. – С. 277-286.
- Костина Н.В.** REGION: экспертная система управления биоресурсами. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 132 с.
- Костина Н.В., Розенберг Г.С., Шитиков В.К.** Экспертная система экологического состояния бассейна крупной реки // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2003. – Т. 5, № 2. – С. 287-294.
- Костицын В.А.** Эволюция атмосферы, биосферы и климата. – М.: Наука, 1984. – 96 с.
- Котельников В.А.** Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 152 с.
- Котляков В.М.** Избранные сочинения. Кн. 3. География в меняющемся мире. – М.: Наука, 2001. – 411 с.
- Котляков В.М., Трофимов А.Н., Селиверстов Ю.П., Солодуха Н.М.** Моделирование экологических ситуаций // Изв. РАН, сер. геогр. – 1995. – № 1. – С. 5-20.
- Котов В.Н.** Применение теории измерений в биологических исследованиях. – Киев: Наук. думка, 1985. – 100 с.
- Кофман А.** Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
- Кохонен Т.** Ассоциативные запоминающие устройства. – М.: Мир, 1982. – 383 с.
- Кочарян К.С., Кочарян К.К.** Устойчивые газоны для крупных мегаполисов // Тезисы докладов Всероссийской науч.-практ. конф. "Градостроительство. Реставрация и реконструкция российских городов" (Ярославль, 8-9 июня 2006 г.). – Ярославль: РААСН, 2006. – С.
- Крамаренко С.С.** Математические методы в экологии: методы оценки обилия и пространственной структуры популяций // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI: Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2006. – С. 117-146.
- Крапивин В.Ф.** Таблицы распределения Вальда. – М.: Наука, 1965. – 189 с.
- Крапивин В.Ф.** О теории живучести сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
- Крапивин В.Ф.** Экоинформатика и проблемы глобальной экодинамики // Биосфера. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 27-37.

- Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я.** Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. – СПб.: Изд-во СПб гос. ун-та, **2002**. – 724 с.
- Крапивин В.Ф., Свирежев Ю.М., Тарко А.М.** Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. – М.: Наука, **1982**. – 272 с.
- Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Биол. науки. – **1990**. – № 9. – С. 159-160. – Рец. на кн.: Моисеенкова Т.А. Эколого-экономическая сбалансированность промышленных узлов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, **1989**. – 240 с.
- Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С.** Принципы усложнения механизмов устойчивости экологических систем // Проблемы устойчивости биологических систем. – М.: Наука, **1992**. – С. 40-51.
- Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С.** Учиться, право, не грешно... [Рецензия] // Зеленый мир (М.). – 1999. – № 6. – С. 20-21. – Рец. на кн.: Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ, **1998**. – 455 с.
- Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С.** Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах). – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2002**. – 248 с.
- Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С., Шляхтин Г.В.** От добычи устриц к устойчивому развитию (хронология основных событий) // Изв. Сарат. ун-та. – **2008**. – Сер. Химия, биология, экология. Вып. 1. – С. 58-86.
- Крестин С.В.** Математическая модель трансформации соединений азота в водной среде // Тезисы докладов III Международного конгресса «Вода: экология и технология. ЭКВАТЭК-98». – М.: Мин-во природ. ресурсов РФ, **1998**. – С. 153.
- Крестин С.В.** Модель трансформации азотосодержащих веществ Куйбышевского водохранилища // Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2003**. – С. 420-424.
- Крестин С.В., Розенберг Г.С.** Модель «цветения воды» в водохранилище равнинного типа // Тезисы докладов Международного форума "Информатика на службе экологии и здоровья". – Тольятти: МКК, **1991**. – С. 46-47.
- Крестин С.В., Розенберг Г.С.** Об одном механизме «цветения воды» в водохранилище равнинного типа // Биофизика. – **1996**. – Т. 41, вып. 3. – С. 650-654.
- Крестин С.В., Розенберг Г.С.** Двухмерная модель «цветения воды» в водохранилище равнинного типа // Изв. СамНЦ РАН. – **2002**. – Т. 4, № 2. – С. 276-279.
- Криволуцкий Д.А., Степанов А.М., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А.** Экологическое нормирование на примере радиоактивного и химического загрязнения экосистем // Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. – М.: Наука, **1988**. – С. 4-16.
- Криксунов Е.А.** Теория динамики промыслового стада рыб. – М.: Изд-во МГУ, **1991**. – 77 с.
- Криксунов Е.А., Бобырев А.Е., Бурменский В.А.** Обеспеченность ресурсами и её роль в развитии инвазионных процессов // Журн. общ. биол. – **2010**. – Т. 71, № 5. – С. 436-451.
- Криксунов Е.А., Бобырев А.Е., Бурменский В.А. и др.** Балансовая модель биотического сообщества оз. Сямозеро. – Петрозаводск: КНЦ РАН, **2005**. – 53 с.
- Криксунов Е.А., Снетков М.А.** Расширенная модель формирования пополнения нерестового стада рыб // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. – М.: Наука, **1985**. – С. 46-55.

- Криксунов Е.А., Шаров А.Ф.** Моделирование воспроизводства и анализ автоколебательной динамики короткоциклового рыб // Журн. общ. биол. – 1987. – Т. 48, № 2. – С. 259-268.
- Криницкий Н.А.** Теория ЭВМ и программирования как интерпретация теории алгоритмов // Симпозиум по теоретическому программированию. – Новосибирск: СО АН СССР, 1972. – 9 с. – <http://www.ershov.ras.ru/archive/eaindex.asp?did=16839>.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М.** Результаты исследований биологии нерки красной, состояния её запасов и колебаний численности // Вопр. ихтиологии. – 1956. – Вып. 7. – С. 3-20.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Куренков И.И., Меншуткин В.В.** Модель экологической системы озера Дальнего // Гидробиол. журн. – 1969а. – Т. 5, № 5. – С. 14-22.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В.** Сообщество пелагических рыб озера Дальнего. Опыт кибернетического моделирования. – Л.: Наука, 1969б. – 86 с.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В.** Тихоокеанский лосось нерка (красная) в экосистеме озера Дальнего (Камчатка). – Л.: Наука, 1987. – 262 с.
- Кубасова Т.С.** Анализ динамики углерода в почвах хвойно-широколиственных лесов при разных сценариях внешних воздействий на лесные экосистемы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, 2007. – 17 с.
- Кудинов К.А., Розенберг Г.С., Саксонов С.В.** [Рецензия] // Ботан. журн. – 2001. – Т. 86, № 1. – С. 174-176. – Рец. на кн.: Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). – Уфа: Гилем, 1999. – 413 с.
- Кудрин Б.И.** Мои семь отличий от Ципфа // Общ. и прикл. ценология. – 2007. – № 4. – С. 25-33.
- Кудрявцев В.Н., Виноградов С.С.** Обоснованность и необоснованность применения различных перечней ПДК для сточных вод гальванического производства // URL. – <http://enviropark.ru/course/category.php?id=20>.
- Кузанский Н.** Об ученом незнании // Сочинения в двух томах. – М.: Мысль, 1979. – Т. 1. – С. 47-184. (Серия: Философское наследие).
- Кузин А.Е.** Северный морской котик. – М.: Изд. Совета по морским млекопитающим, 1999. – 395 с.
- Кузнецов И.В.** Взаимосвязь физических теорий // Вопр. философии. – 1963. – № 6. – С. 34-44.
- Кузнецов И.В.** Структура физической теории // Вопр. философии. – 1967, № 11. – С. 86-98.
- Кузнецов И.В.** Избранные труды по методологии физики (на подступах к теории физического познания). – М.: Наука, 1975. – 296 с.
- Кузнецов О.Л., Кузнецов П.Г., Большаков Б.Е.** Система природа – общество – человек. Устойчивое развитие. – М.: Ноосфера, 2000. – 392 с.
- Кузнецов П.Г.** "Его действительное открытие..." // Подолинский С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. – М.: Ноосфера, 1991. – С. 5-10.
- Кузнецов П.Г.** Искусственный интеллект и разум человеческой популяции // Устойчивое развитие: наука и практика. – 2008. – Спец. выпуск. – С. 10-48. – [http://yrazvitie.ru/wp-content/uploads/2009/07/spec_vipysk.pdf].
- Кузнецов С.П.** Динамический хаос (курс лекций). – М.: Физматлит, 2001. – 295 с. (Сер. Современная теория колебаний и волн).
- Кузнецова М.А.** Методические подходы к изучению экологии популяций в работах Г.Ф. Гаузе // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-

- химического мониторинга. Часть IV: Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2000. – С. 314-341.
- Кулагин А.А.** Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: Дис. ... д-ра биол. наук. – Уфа; Тольятти, 2006. – 430 с.
- Кулагин А.А., Шагиева Ю.А.** Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. – М.: Наука, 2005. – 190 с.
- Кулагин А.Ю.** Адаптациогенез и реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях (на примере сем. Salicaceae Lindl.) // Матер. докл. Международной конф. «Экологические проблемы бассейнов крупных рек - 3». – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – С. 141.
- Кулагин А.Ю., Баталов А.А., Зайцев Г.А., Сметанина Е.Э.** Адаптивный потенциал древесных растений в условиях техногенеза (на примере хвойных насаждений Уфимского промышленного центра) // Научные аспекты экологических проблем России. – М.: Наука, 2002. – Т. 1. – С. 246-251.
- Кулагин Ю.З.** О критических периодах в онтогенезе растений // Журн. общ. биол. – 1972. – Т. 33, № 6. – С. 751-757.
- Кулагин Ю.З.** Преадаптации и экологический прогноз // Журн. общ. биол. – 1974. – Т. 35, № 2. – С. 223-227.
- Кулагин Ю.З.** Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. – М.: Наука, 1980. – 116 с.
- Кулагин Ю.З.** Экологические аналоги и прогнозирование // Журн. общ. биол. – 1982. – Т. 43, № 1. – С. 30-34.
- Кулаичев А.П.** Методы и средства анализа данных в среде Windows. – М: ИнКо, 2002. – 341 с.
- Куль К.** На пути к конструктивной теории фитоценологии // Перспективы теории фитоценологии: Тез. симпоз. Лазлуту – Пухту, 16-20 мая 1988. – Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1988. – С. 11-18.
- Кун Т.** Структура научных революций. – М.: Прогресс, 1975. – 300 с.
- Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.** Парадоксы хаоса // Знание – сила. – 1993. – № 3. – С. 53-62.
- Куркин К.А.** Системные исследования динамики лугов. – М.: Наука, 1976. – 284 с.
- Куркин К.А.** Системный подход в экологических исследованиях // Системные исследования. – М.: Наука, 1977. – С. 195-211.
- Кусакин О.Г.** Предисловие // Христофорова Н.К. Основы экологии: Учеб. для биол. и экол. факультетов университетов. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – С. 5-8.
- Лавренко Е.М.** Теоретические задачи советской геоботаники // Сов. ботан. – 1944. – № 4-5. – С. 3-19.
- Лавренко Е.М., Дылис Н.В.** Успехи и очередные задачи в изучении биогеоценозов суши в СССР // Ботан. журн. – 1968. – Т. 43, № 2. – С. 155-167.
- Лавренко Е.М., Юнатов А.А.** Залежный режим в степях как результат воздействия полевки Брандта на степной травостой и почву // Ботан. журн. – 1952. – Т. 37, № 2. – С. 128-138.
- Лайск А., Молдау Х., Нильсон Т., Росс Ю., Тооминг Х.** О моделировании продукционного процесса растительного покрова // Ботан. журн. – 1971. – Т. 56, № 6. – С. 761-776.
- Лакатос И.** Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. – М.: Медиум, 1995. – 236 с.

- Лашинский Н.Н.** Специфика динамических явлений в травостое сосновых парковых лесов // Изв. СО АН СССР, сер. биол. – 1971. – № 15. – С. 39-45.
- Лбов Г.С.** Выбор эффективной системы зависимых признаков // Вычислительные системы. Вып. 19. – Новосибирск: Наука, 1965. – С. 21-34.
- Лбов Г.С.** Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. – Наука: Новосибирск, 1981. – 160 с.
- Лбов Г.С., Бериков В.Б.** Устойчивость решающих функций в задачах распознавания образов и анализа разнотипной информации. – Новосибирск: Изд-во Ин-та матем. СО РАН, 2005. – 218 с.
- Лбов Г.С., Старцева Н.Г.** Логические решающие функции и вопросы статистической устойчивости решений. – Новосибирск: Изд-во Ин-та матем. СО РАН, 1999. – 211 с.
- Лебедева Н.К., Лурье А.Л.** Я.И. Лукомский // Ученые записки по статистике. – М.: Наука, 1963 – Т. VII. Статистические закономерности. Индексный метод анализа. Международное сравнение статистических показателей. – С. 313-320.
- Левич А.П.** Понятие устойчивости в биологии (математические аспекты) // Человек и биосфера. – М.: МГУ, 1977. – Вып. 1. – С. 138-174.
- Левич А.П.** Структура экологических сообществ. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 161 с.
- Левич А.П.** Семиотические структуры в экологии, или существует ли экологический код? // Человек и биосфера: экологический прогноз. – М.: МГУ, 1983. – Вып. 8. – С. 68-77.
- Левич А.П.** Эколого-математическое моделирование биологической продуктивности Каспийского моря // Теоретическая экология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – С. 5-16.
- Левич А.П.** Теоретическая биология: поиск уравнений обобщенного движения // Изв. РАН, сер. биол. – 1993а. – № 2. – С. 320-323.
- Левич А.П.** Теоретическая биология: поиск источников неравновесности живой материи // Изв. РАН, сер. биол. – 1993б. – № 5. – С. 778-779.
- Левич А.П.** Основные задачи "Теоретической биологии" Э. Бауэра: поиск путей к теории обобщенного движения и источников неравновесности живой материи // Эрвин Бауэр и теоретическая биология. – Пуццино. ИЦ РАН, 1993в. – С. 91-101.
- Левич А.П.** Феноменология, применение и происхождение ранговых распределений в биоценозах и экологии как источник идей для техноценозов и экономики // Математическое описание ценозов и закономерности технетики. – Абакан: Центр системных исследований, 1996. – С. 93-105.
- Левич А.П.** Управление структурой фитопланктонных сообществ: Эксперимент и моделирование: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2000. – 41 с.
- Левич А.П.** Принцип максимума энтропии и теоремы вариационного моделирования // Успехи соврем. биол. – 2004. – Т. 124, вып. 6. – С. 515-533.
- Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н.** Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. – М.: НИИ-Природа, 2004. – 271 с.
- Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Милько Е.С.** Экологический контроль окружающей среды по данным биологического и физико-химического мониторинга природных объектов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010а. – № 2. – С. 199-207.
- Левич А.П., Забурдаева Е.А., Максимов В.Н. и др.** Поиск целевых показателей качества для биоиндикаторов экологического состояния и факторов окружающей среды (на

- примере водных объектов р. Дон) // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 6. – С. 730-742.
- Левич А.П., Личман Е.Г.** Модельное изучение возможностей направленного изменения структуры фитопланктонных сообществ // Журн. общ. биол. – 1992. – Т. 53, № 5. – С. 689-703.
- Левич А.П., Михайловский Г.Е.** Существует ли теоретическая биология? // Химия и жизнь. – 1979а. – № 1. – С. 9-13.
- Левич А.П., Михайловский Г.Е.** Съществува ли теоретична биология? // Наука и техника (Болгария). – 1979б. – № 18. – С. 4-6.
- Левич А.П., Рисник Д.В., Булгаков Н.Г. и др.** Методические вопросы применения показателей видового разнообразия фитопланктона для анализа качества вод Нижней Волги // Использование и охрана природных ресурсов России. – 2010б. – № 5. – С. 44-48; № 6. – С. 27-34.
- Левич А.П., Терёхин А.Т.** Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы (метод ЭДУ) // Водн. ресурсы. – 1997. – Т. 4, № 3. – С. 328-335.
- Лем С.** Сумма технологии. – М.: Мир, 1968. – 608 с. – <http://lib.ru/LEM/summa.txt>
- Ленин А.Н., Логвин В.В.** Исследование моделей морских экосистем с помощью проблемно-ориентированной системы программирования ДИСТАЛ // Исследование механизмов функционирования морских сообществ и экосистем с применением математического моделирования. – Киев: Наук. думка, 1977. – С. 54-65.
- Ленин В.И.** Конспект книги Гегеля "Наука логики" // Полное собрание сочинений / 5-е изд. – М.: Гос. изд. полит. лит., 1977. – Т. 29. – С. 77-218.
- Леонов А.В.** Математическое моделирование трансформации соединений фосфора в пресноводных экосистемах (на примере оз. Балатон) – М.: Наука 1986. – 150 с.
- Леонов А.В.** Математическая модель совместной трансформации соединений азота, фосфора и кислорода в водной среде: её применение для анализа динамики компонентов в евтрофном озере // Водн. ресурсы. – 1989. – Т. 16, № 2. – С. 105-123.
- Леонов А.В., Абросов Н.С., Николаев В.М.** Математическая модель трансформации соединений углерода, азота, фосфора и режима кислорода на взаимосвязанных водоемах повышенной трофности // Водн. ресурсы. – 1994. – Т. 21, № 4-5. – С. 513-522.
- Леонов А.В., Осташенко М.М., Лаптева Е.Н.** Математическое моделирование процессов трансформации органического вещества и соединений биогенных элементов в водной среде: предварительный анализ условий функционирования экосистемы Ладожского озера // Водн. ресурсы. – 1991. – № 1. – С. 51-72.
- Леонов А.В., Цхай А.А.** Прогноз качества воды проектируемого водохранилища на основе модели трансформации соединений азота и фосфора // Водн. ресурсы. – 1995. – № 3. – С. 261-272.
- Леонов В.П.** Ошибки статистического анализа биомедицинских данных // Междунар. журн. медицинской практики. – 2007. – Вып. 2. – С. 19-35.
- Лернер А.Я.** Предисловие // Принципы самоорганизации. – М.: Мир, 1966. – С. 5-13.
- Лефевр В.А.** Конфликтующие структуры. – М.: Сов. радио, 1973. – 120 с.
- Лефевр В.А.** Рефлексия. – М.: Когито-центр, 2003. – 496 с.
- Лефевр В.А., Смолян Г.Л.** Алгебра конфликта / Изд. 4. – М.: URSS, 2011. – 72 с.
- Лиена И.Я.** Математическая модель прогнозирования запаса древостоя // Математика в ботанике. Уч. зап. Латв. ун-та. Т. 122. – Рига: Латв. ун-т, 1970. – С. 71-80.

- Лиена И.Я.** Характерные ошибки применения математических методов в биологии // Моделирование и прогнозирование в экологии. – Рига: Латв. ун-т, **1978**. – С. 3-14.
- Лизер С.** Эконометрические методы и задачи. – М.: Статистика, **1971**. – 141 с.
- Линней К.** Философия ботаники. – М.: Наука, **1989**. – 356 с.
- Лифиренко Н.Г.** Состояние здоровья населения и качество окружающей среды: анализ территорий разного масштаба: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, **2006**. – 18 с.
- Лиханова И., Арчегова И.** Формирование почв при ускоренной восстановительной сукцессии лесных экосистем на Севере // Вестн. Ин-та биол. Коми НЦ УрО РАН. – **2009**. – № 4 (138). – С. 2-6.
- Лобанов В.А., Анисимов О.А.** Эмпирико-статистическое моделирование временных и пространственных изменений гидрометеорологических характеристик // Труды Центра международного сотрудничества по проблемам окружающей среды (ИНЭНКО) РАН. – СПб.: Наука, **2006**. – С. 70-86.
- Ловелиус Н.В.** К возможности оценки воздействия взрывов сверхновых звезд на прирост древесных пород // Ботан. журн. – **1974**. – Т. 59, № 7. – С. 992-995.
- Логофет Д.О.** Что такое математическая экология // Математические модели в экологии и генетике. – М.: Наука, **1981**. – С. 8-17.
- Логофет Д.О.** Три источника и три составные части формализма популяции с дискретной стадийной и возрастной структурами // Мат. моделирование. – **2002а**. – Т. 14, № 12. – С. 11-22.
- Логофет Д.О.** [Рецензия] // Журн. общ. биол. – **2002б**. – Т. 63, № 1. – С. 75-77. Рец. на кн.: Hal Caswell. Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation. Second Edition. – Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 2001, xxii + 722 pp. – Хал Касвелл. Матричные популяционные модели: Построение, анализ и интерпретация. 2-е изд. Сандерленд, Массачусетс: Синауэр, 2001, xxii + 722 с.
- Логофет Д.О., Белова И.Н.** Неотрицательные матрицы как инструмент моделирования динамики популяций: классические модели и современные обобщения // Фундам. и прикл. математ. – **2007**. – Т. 13, № 4. – С. 145-164.
- Логофет Д.О., Ключкова И.Н.** Математика модели Лефковича: репродуктивный потенциал и асимптотические циклы // Мат. моделирование. – **2002**. – Т. 14, № 10. – С. 116-126.
- Логофет Д.О., Свирежев Ю.М.** Устойчивость в моделях взаимодействующих популяций // Проблемы кибернетики, **1976**. – Вып. 32. – С. 132-140.
- Ломоносов М.В.** Письмо Леонарду Эйлеру от 5 июля 1748 г. // Избранные философские произведения. – М.: Госполитиздат, **1950**. – С. 155-163.
- Лоренц К.** Агрессия (так называемое «зло»). – СПб.: Амфора, **2001**. – 349 с.
- Лукомский Я.И.** Теория корреляции и её применение к анализу производства. – М.: Госстатиздат, **1958**. – 387 с.
- Львовский В.Н.** Статистические методы построения эмпирических формул / 2-е изд. – М.: Высш. шк., **1988**. – 239 с.
- Лысенко Т.Д.** Об агрономическом учении В.Р. Вильямса // Избранные работы. – М.: Сельхозгиз, **1952**. – С. 271-299. (Газета "Правда", 1950, 15 июля).
- Любарский Е.Л.** Теоретическая фитоценология и агрофитоценозы // Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Агрофитоценозы и экологические пути повышения их стабильности и продуктивности". – Ижевск: Изд-во Удмуртск. гос. ун-та, **1988**. – С. 17.

- Любичев А.А.** Об ошибках в применении математики в биологии. I. Ошибки от недостатка осведомленности // Журн. общ. биол. – 1969а. – Т. 30, № 5. – С. 572-584.
- Любичев А.А.** Об ошибках в применении математики в биологии. II. Ошибки, связанные с избытком энтузиазма // Журн. общ. биол. – 1969б. – Т. 30, № 6. – С. 715-723.
- Любичев А.А.** Редукционизм и развитие морфологии и систематики // Журн. общ. биол. – 1977. – Т. 38, № 2. – С. 240-245.
- Любичев А.А.** О постулатах качественных и количественных законах (из письма А.А. Равделю) // Теоретические проблемы эволюции и экологии. – Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1991. – С. 215-220.
- Любичев А.А.** Мысли о многом / Сост. О.П. Орлицкая. – Ульяновск: Изд-во Ульян. гос. пед. ун-та, 1997. – 272 с.
- Ляпунов А.А.** Об изучении балансовых соотношений в биогеоценозе (Попытка математического анализа) // Журн. общ. биол. – 1968. – Т. 29, № 6. – С. 629-644.
- Ляпунов А.А.** В чем состоит системный подход к изучению реальных объектов сложной природы // Управляемые системы. – Новосибирск: Наука, 1970. – Вып. 6. – С. 44-56.
- Ляпунов А.А.** О кибернетических вопросах биологии // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1972. – Вып. 25. – С. 5-40.
- Ляпунов А.А., Титлянова А.А.** Системный подход к изучению обменных процессов в биогеоценозе // Ботан. журн. – 1974. – Т. 59, № 8. – С. 1081-1092.
- Мазалов В.В.** Игровые моменты остановки. – Новосибирск: Наука, 1987. – 192 с.
- Мазалов В.В.** Математическая теория игр и приложения. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 446 с.
- Мазалов В.В., Ретгиева А.Н.** Об одной задаче управления популяцией // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2002. – № 9, вып. 2. – С. 293-306.
- Мазалов В.В., Ретгиева А.Н.** Равновесие по Нэшу в задачах охраны окружающей среды // Математическое моделирование. – 2006. – Т. 18, № 5. – С. 73-90.
- Мазинг В.В.** О теоретических и методических вопросах крупномасштабного картирования растительности // Уч. зап. Тарт. ун-та. – 1963. – Т. 136 (Труды по ботанике. Т. 4). – С. 473-485.
- Майр Э.** Причина и следствие в биологии // На пути к теоретической биологии. I. Прологомены. – М.: Мир, 1970. – С. 47-58.
- Майстров Д.Е.** Теория вероятностей. Исторический очерк. – М.: Наука, 1967. – 320 с.
- Макаренко Н.Г.** Фракталы, аттракторы, нейронные сети и все такое // Научная сессия МИФИ-2002. IV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика – 2002». Лекции по нейроинформатике. Часть 2. – М.: МИФИ, 2002. – С. 121-169.
- Макарова С.И.** Сравнение моделей описания зависимости числа видов во флоре от размера площади // Ботан. журн. – 1983. – Т. 68, № 3. – С. 376-381.
- Максимов В.Н.** Многофакторный эксперимент в биологии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 279 с.
- Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Терехин А.Т.** Методика применения детерминационного анализа данных мониторинга для целей экологического контроля природной среды // Успехи соврем. биол. – 2001. – Т. 121, № 2. – С. 131-143.
- Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Милованова Г.Ф.** Детерминационный анализ связей между различными компонентами экосистем. Сравнение с методами традиционной статистики // Изв. РАН. Сер. биол. – 1999. – № 4. – С. 469-477.

- Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Милованова Г.Ф., Левич А.П.** Детерминационный анализ в экосистемах: сопряженности для биотических и абиотических компонент // Изв. РАН. Сер. биол. – **2000а**. – № 4. – С. 482-491.
- Максимов В.Н., Милованова Н.Г., Булгаков Н.Г., Левич А.П.** Индикация состояния экосистем методами детерминационного анализа // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Третьи Люблинские чтения). – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2000б**. – С. 113-120.
- Малахов В.В.** «Пока горит свеча...» Очерки по истории кафедры зоологии беспозвоночных Московского государственного университета. Изд. 2-е. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, **2006**. – 153 с.
- Малета Ю.С., Тарасов В.В.** Математические методы статистического анализа в биологии и медицине. – М.: МГУ, **1982**. – 179 с.
- Малинецкий Г.Г.** Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. – М.: Наука, **1997**. – 256 с.
- Малинецкий Г.Г.** Новый облик нелинейной динамики // Природа. – **2001**. – № 3. – С. 3-12.
- Малинецкий Г.Г.** Сценарии, стратегические риски, информационные технологии. – URL. – http://www.keldysh.ru/e-biblio/jj/s_r/jst.htm.
- Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П.** Нелинейная динамика и проблемы прогноза // Вестн. РАН. – **2001**. – Т. 71, № 3. – С. 210-224.
- Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.** Нелинейная динамика и хаос: основные понятия. – М.: КомКнига, **2006**. – 240 с.
- Малиновский А.А.** Теоретическая биология? Она создается сегодня // Знание – сила. – **1979**. – № 11.
- Малиновский А.А.** О теоретической биологии. – Препринт НЦБИ АН СССР. – Пушкино, **1982**. – 10 с. – (I Всесоюзный биофизический съезд. Секц. № 20. Творческая дискуссия).
- Малкина-Пых И.Г.** Моделирование динамики пестицидов в элементарных экосистемах различных географических зон на основе метода функций отклика // Агрохимия. – **1995а**. – № 8. – С. 87-113.
- Малкина-Пых И.Г.** Модель формирования гумуса в естественных и сельскохозяйственных экосистемах // Почвоведение. – **1995б**. – № 7. – С. 902-914.
- Малкина-Пых И.Г.** Моделирование роста и развития однолетних растений с использованием метода функций отклика. 1. Общее описание модели // Физиол. раст. – **1996а**. – Т. 43, № 6. – С. 842-851.
- Малкина-Пых И.Г.** Моделирование роста и развития однолетних растений с использованием метода функций отклика. 2. Идентификация параметров. Имитационные эксперименты // Физиол. раст. – **1996б**. – Т. 43, № 6. – С. 842-863.
- Малкина-Пых И.Г.** Метод функций отклика в экологической биофизике: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – М., **1998**. – 40 с.
- Малкина-Пых И.Г., Пых Ю.А.** POLMOD.PEST – модель миграции пестицидов в элементарной экосистеме. Препринт. – М.: ИНЭНКО, **1992**. – 88 с.
- Малкина-Пых И.Г., Пых Ю.А.** POLMOD.HUM – модель динамики гумуса в естественных экосистемах, при сельскохозяйственном использовании почв и в глобальных изменениях климата. Препринт. – М.: ИНЭНКО, **1994**. – 84 с.
- Мальтус Т.** Опыт о законе народонаселения. – М.: Директмедиа Паблишинг, **2007**. – 358 с.

- Мальшев Л.И.** Флористическое районирование на основе количественных признаков // Бот. журн. – 1973. – Т. 58, № 11. – С. 1581-1588.
- Мальшев Л.И.** Количественный анализ флоры: пространственное разнообразие, уровень видового богатства и репрезентативность участков обследования // Бот. журн. – 1975. – Т. 60, № 11. – С. 1537-1550.
- Мальшев Л.И.** В краю снежных вершин. Путешествия ботаника по Восточному Саяну: мемуары. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2007. – 144 с.
- Мамихин С.В.** Воспроизведение температурного и гидрологического режимов почвы в математических моделях сухопутных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. почв. – 1997. – № 3. – С. 7-10.
- Мамихин С.В.** Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (имитационное моделирование и применение информационных технологий). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. – 172 с.
- Мамчур Е.А.** Проблема выбора теории. К анализу переходных ситуаций в развитии физического знания. – М.: Наука, 1975. – 232 с.
- Мамчур Е.С., Скорупская Ю.Г.** Виртуальные миры искусства и науки: проблема референции // Теоретическая виртуалистика. Новые проблемы, подходы и решения / Отв. ред. Е.А. Мамчур. – М.: Наука, 2008. – С. 140-160.
- Мандельброт Б.Б.** Фракталы и возрождение теории итераций // Пайген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем – М.: Мир, 1993. – С. 131-140.
- Мандельброт Б.Б.** Фрактальная геометрия природы. – М.; Ижевск: Ин-т компьют. иссл., 2002. – 656 с.
- Мандельброт Б.** Фракталы и хаос: Множество Мандельброта и другие чудеса. – М.; Ижевск: Ин-т компьют. иссл., 2009. – 391 с.
- Мантейфель Б.П.** Значение особенностей поведения животных в их экологии и эволюции // Биологические основы управления поведением рыб. – М.: Наука, 1970. – С. 12-36.
- Мантейфель Б.П.** Экология поведения животных. – М.: Наука, 1980. – 220 с.
- Мантейфель Б.П.** Экологические и эволюционные аспекты поведения животных. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
- Маргалев Р.** Облик биосферы. – М.: Наука, 1992. – 214 с.
- Маркман Г.С.** К теории диссипативных структур в системе двух уравнений с диффузией // Динамика биологических популяций. – Горький: Изд-во ГГУ, 1985. – С. 16-22.
- Марков А.В.** Эволюция и мораль // Природа. – 2010. – № 9. – С. 21-28.
- Маркова Н.М., Шапиро А.П.** Проблемно-ориентированный язык «БИОЛ» для моделирования биоценозов // Управление и информация. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. – Вып. 25. – С. 113-129.
- Мартынова М.В.** Азот и фосфор в донных отложениях озер и водохранилищ. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
- Мартынова М.В.** Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. – М.: Наука, 2010. – 242 с.
- Марчук Г.И.** Методы вычислительной математики. 3-е изд. – М.: Наука, 1989. – 608 с.
- Масленников Е.В.** [Рецензия] Что такое социологическое измерение? // Социол. исслед. – 1999. – № 9. – С. 143-146. – Рец. на кн.: Толстова Ю.Н. Измерение в социологии. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 224 с.
- Матвеев Н.М.** Аллелопатия как фактор экологической среды. – Самара: Кн. изд-во, 1994. – 203 с.

- Материалы I Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды», Нарочь, 20-25 сентября 1999 г. – Минск: Изд-во БГУ, **2000**. – 495 с.
- Материалы II Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды», Нарочь, 22-26 сентября 2003 г. – Минск: Изд-во БГУ, **2003**. – 669 с.
- Материалы III Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды», 17-22 сентября 2007 г., Минск; Нарочь. – Минск: «Издательский центр БГУ», **2007**. – 360 с.
- Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е., Бердников С.В.** Опыт применения математических моделей для оценки потоков искусственных радионуклидов в экосистеме Азовского моря // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. – М.: Наука, **2005**. – С. 184-197.
- Мауринь А.М.** Принцип необратимости и моделирование биологических систем // Моделирование и прогнозирование в экологии. – Рига: Латв. ун-т, **1975**. – С. 15-21.
- Мауринь А.М.** Проблемы биоэкологического прогнозирования // Журн. общ. биол. – **1978**. – Т. 39, № 2. – С. 149-159.
- Мауринь А.М., Ушинская В.И.** Критерий выбора методического подхода в биоэкологическом прогнозировании // Моделирование и прогнозирование в экологии. – Рига: Латв. ун-т, **1978**. – С. 22-28.
- Машбиц Е.И., Каптелинин В.Н., Маргулис Е.Д.** Введение в язык Лого. – Киев: Выща школа, **1989**. – 207 с.
- Медведева Н.Б.** Динамика логистической функции // Соросовский образ. журн. – **2000**. – Т. 6, № 8. – С. 121-127.
- Медвинский А.Б., Криксунов Е.А., Бобырев А.Е. и др.** Концептуальная модель динамики озерного сообщества оз. Сямозеро // Биофизика. – **2006**. – Т. 51, вып. 2. – С. 358-366.
- Медвинский А.Б., Петровский С.В., Тихонова И.А. и др.** Формирование пространственно-временных структур, фракталы и хаос в концептуальных экологических моделях на примере динамики взаимодействующих популяций планктона и рыбы // Успехи физ. наук. – **2002**. – Т. 172, № 1. – С. 31-66.
- Медников Б.М.** Аксиомы биологии – *Biologia axiomatica*. – М.: Знание, **1982**. – 136 с.
- Медоуз Донелла, Рандерс Й., Медоуз Денис.** Пределы роста. 30 лет спустя. – М.: ИКЦ "Академкнига", **2008**. – 342 с.
- Межжерин В.А.** Этюды по теории биологических систем // Системные исследования. Ежегодник 1974. – М.: Наука, **1974**. – С. 100-119.
- Мейен С.В.** Основные аспекты типологии организмов // Журн. общ. биол. – **1978а**. – Т. 39, № 4. – С. 495-508.
- Мейен С.В.** Проблема редукционизма в биологии // Диалектика развития в природе и научном познании: (К 100-летию книги Ф. Энгельса "Анти-Дюринг"). – М.: Наука, **1978б**. – С. 135-169.
- Мейен С.В.** Принципы исторических реконструкций в биологии // Системность и эволюция. – М.: Наука, **1984**. – С. 7-32.
- Менделеев Д.И.** Сочинения: в 25-ти томах. – Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1949-1952. – Т. 22. Метрологические работы. – **1950**. – 867 с.
- Менделеев Д.И.** Периодический закон. Основные статьи. – М.: Изд-во АН СССР, **1958**. – 830 с.

- Меншуткин В.В.** Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных. – Л.: Наука, 1971. – 196 с.
- Меншуткин В.В.** Язык моделирования гидробиологических процессов // Гидробиол. журн. – 1975. – Т. 11, № 6. – С. 11-17.
- Меншуткин В.В.** Имитационное моделирование водных экологических систем. – СПб.: Наука, 1993. – 158 с.
- Меншуткин В.В.** Моделирование популяции нерки *Oncorhynchus nerka* озера Дальнего (Камчатка) с применением индивидуально-ориентированного метода // Биол. моря. – 2003. – Т. 29, № 3. – С. 217-221.
- Меншуткин В.В.** Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). – Петрозаводск; Санкт-Петербург: РАН, 2010. – 416 с.
- Меншуткин В.В., Кисляков Ю.Я.** Моделирование популяции промысловой рыбы с учетом переменного темпа роста // Зоол. журн. – 1967. – Т. 46, вып. 6. – С. 805-810.
- Меншуткин В.В., Кожова О.М., Ащепкова Л.Я., Кротова В.А.** Камерная модель динамики экосистемы озера Байкал с учетом трехмерной циркуляции вод // Математическое моделирование водных экосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – С. 288-298.
- Меншуткин В.В., Паутова В.Н, Номоконова В.Н. др.** Статистические связи в экосистеме Куйбышевского водохранилища // Гидробиол. журн. – 1988. – Т. 34, №5. – С. 94-103.
- Меншуткин В.В., Умнов А.А.** Математическая модель простейшей водной экологической системы // Гидробиол. журн. – 1970. – Т. 6, вып. 2. – С. 28-35.
- Меркурьева Е.К.** Основы биометрии. – М.: МГУ, 1963. – 237 с.
- Мешковский З.Д.** Применимость методов определения биологической самодетерминации для целей экологического прогнозирования // Моделирование и прогнозирование в экологии. – Рига: Латв. ун-т, 1980. – С. 99-113.
- Миллс Ф.** Статистические методы. – М.: Госстатиздат, 1958. – 799 с.
- Минибаев Р.Г.** Фитоценологические закономерности сорно-полевой растительности // Ботан. журн. – 1961. – Т. 46, № 1. – С. 135-139.
- Минибаев Р.Г., Ханов Ф.М., Наумова Л.Г.** О некоторых вопросах методики учета засоренности полей при маршрутном обследовании // Анализ закономерностей растительного покрова речных пойм. – Уфа: Башк. гос. ун-т, 1971. – С. 214-221.
- Мирзоян Э.Н.** К истории системного подхода в биологии // Архив анат., гистол. и эмбриол. – 1989. – Т. 47, № 8. – С. 90-97.
- Мирзоян Э.Н.** Пути развития теоретической биологии // Изв. РАН, сер. биол. – 1993. – № 5. – С. 774-777.
- Мирзоян Э.Н.** Теоретическая биология: в поисках междисциплинарных подходов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1999. – Т. 104, вып. 1. – С. 3-9.
- Мирзоян Э.Н.** Этюды по истории теоретической биологии / 2-е изд. – М.: Наука, 2006. – 371 с.
- Миркин Б.М.** Введение в количественные методы анализа растительности. – Уфа: БашГУ, 1970. – 87 с.
- Миркин Б.М.** Статистический анализ экоклиннов // Ботан. журн. – 1971. – Т. 56, № 12. – С. 1772-1788.
- Миркин Б.М.** Закономерности развития растительности речных пойм. – М.: Наука, 1974. – 174 с.
- Миркин Б.М.** Теория и практика фитоценологии. – М.: Знание, 1981. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 7).

- Миркин Б.М.** О типах эколого-ценотических стратегий у растений // Журн. общ. биол. – 1983. – Т. 44, № 5. – С. 603-613.
- Миркин Б.М.** Теоретические основы современной фитоценологии. – М.: Наука, 1985. – 136 с.
- Миркин Б.М.** О «прагматических» принципах классификации растительности // Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии. – Уфа: БФАН СССР, 1987. – С. 18-28.
- Миркин Б.М.** Еще раз об организмизме в фитоценологии // Ботан. журн. – 1989а. – Т. 74, № 1. – С. 3-13.
- Миркин Б.М.** Надумана ли дилемма «холизм – редукционизм»? // Журн. общ. биол. – 1989б. – Т. 50, № 5. – С. 705-708.
- Миркин Б.М.** Заметки о "Перспективах теории фитоценологии" // Биол. науки. – 1989в. – № 11. – С. 65-75.
- Миркин Б.М.** Экология растительности сельскохозяйственных земель Башкирии. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. – 128 с.
- Миркин Б.М.** Экология естественных и сеяных лугов. – М.: Знание, 1991. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. сельское хозяйство; вып. 8).
- Миркин Б.М.** Проблема соотношения непрерывности и дискретности и современная экология // Журн. общ. биол. – 2005. – Т. 66, № 6. – С. 522-526
- Миркин Б.М., Анищенко И.Е.** Градиентный анализ закономерностей состава спонтанных видов в сообществах газонов городов Башкирского Предуралья // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1994. – Т. 99, № 6. – С. 86-91.
- Миркин Б.М., Антонова Н.Д., Горская Т.Г., Янтурин С.И.** К анализу поведения некоторых видов многолетних трав в различных экологических и ценотических условиях // Ботан. журн. – 1984. – Т. 69, № 4. – С. 810-816.
- Миркин Б.М., Горская Т.Г.** Теоретические аспекты анализа сукцессии в травосмесях // Биол. науки. – 1989. – № 10. – С. 18-27.
- Миркин Б.М., Горская Т.Г., Григорьев И.Н. и др.** Опыт анализа сукцессий в травосмесях. – Уфа: БФАН СССР, 1987. – 120 с.
- Миркин Б.М., Горская Т.Г., Никулина Г.А., Розенберг Г.С.** О некоторых закономерностях дифференциации ценопопуляций культурных трав в ходе сукцессии травосмеси // Ботан. журн. – 1986. – Т. 71, № 5. – С. 588-598.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Методические вопросы применения корреляционного метода при геоботанических исследованиях // Ботан. журн. – 1974. – Т. 59, № 8. – С. 1142-1156.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** О «нише» сравнительной флористики в современной науке о растительности // Журн. общ. биол. – 1996. – Т. 57, № 3. – С. 399-410.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). – Уфа: Гилем, 1998. – 413 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Популярный экологический словарь / Под ред. А.М. Гилярова. – М.: Тайдекс Ко, 2003. – 384 с. (Библиотека журнала "Экология и жизнь").
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Биологическое разнообразие и принципы его сохранения: Учеб. пособие. – Уфа: РИО БашГУ, 2004. – 122 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Проблемы, понятия и термины современной экологии: Словарь-справочник. – Уфа: АН БР; Гилем, 2010. – 400 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Розенберг Г.С., Хазиахметов Р.М.** Какой должна быть программа предмета «Устойчивое развитие» в высшей школе? // Изв. СамНЦ РАН. – 2005. – Т. 7. – № 1. – С. 28-34.

- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Анализ мозаичности травянистых растительных сообществ. 1. Популяционный уровень // Биол. науки. – **1976**. – № 12. – С. 127-134.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Системный подход к фитоценологии // Журн. общ. биол. – **1978а**. – Т. 39, № 2. – С. 167-178.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Фитоценология. Принципы и методы. – М.: Наука, **1978б**. – 212 с.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Количественные методы классификации, ординации и геоботанической индикации // Итоги науки и техники. Ботаника. – М.: ВИНТИ, **1979**. – Т. 3. – С. 71-137.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Толковый словарь современной фитоценологии. – М.: Наука, **1983**. – 136 с.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Кашапов Р.Ш.** Статистический анализ широтных ценопоклинов // Биол. науки. – **1975**. – № 12. – С. 126-131.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.** Новый коэффициент межвидовой сопряженности, удобный для классификации пойменных лугов (трансформированный коэффициент Дайса, ТКД) // Растительность речных пойм, методы её изучения и вопросы рационального использования. – Уфа: БФАН СССР, **1972**. – С. 85-86.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.** Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. – М.: Наука, **1989**. – 223 с.
- Миркин Б.М., Усманов И.Ю.** Аллелопатия: состояние теории и методы изучения // Журн. общ. биол. – **1991**. – Т. 52, № 3. – С. 646-655.
- Миркин Б.М., Хасанова Г.Р., Абрамова Л.М., Суяндукоев Я.Т.** Сукцессии в посевах многолетних трав: закономерности, вклад в биоразнообразие и устойчивость агроэкосистем // Бюл. МОИП, отд. биол. – **2002**. – Т. 107, вып. 5. – С. 68-72.
- Миркин Б.М., Янгурин С.И.** Статистический анализ влияния удобрений и погодных условий на горизонтальную структуру луга. II. Популяционный уровень // Биол. науки. – **1981**. – № 6. – С. 56-68.
- Мироненко М.В.** Гуманизм в опыте аксеологического измерения // Омский науч. вестн. – **2007**. – № 2 (52). – С. 111-113.
- Миронова С.И.** Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии (на примере Западной и Южной Якутии). – Новосибирск: Наука, **2000**. – 151 с.
- Митропольский Ю.А.** Предисловие // Котов В.Н. Применение теории измерений в биологических исследованиях. – Киев: Наук. думка, **1985**. – С. 3-4.
- Михайлова Н.В.** Решетчатые имитационные модели динамики популяций травянистых растений разных жизненных форм: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти, **2008**. – 18 с.
- Михайлова Н.В., Богданова Н.Е., Михайлов А.В.** Скорость освоения территории неморальными видами трав (модельный подход) // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – **2006**. – Т. 111, вып. 1. – С. 37-44.
- Михайловский Г.Е.** Термодинамические аспекты системного подхода к экологии // Человек и биосфера. Вып. 2. Устойчивость экологических систем / Под ред. В.Д. Фёдорова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1978**. – С. 103-123.
- Михайловский Г.Е.** Описание и оценка состояний планктонных сообществ. – М.: Наука, **1988**. – 214 с.
- Михайловский Г.Е.** Перед закатом системной биологии // Изв. РАН, сер. биол. – **1993**. – № 2. – С. 310-312.
- Михайловский Г.Е., Левич А.П.** [Рецензия] // Биол. науки. – **1986**. – № 12. – С. 101-104. – Рец. на кн.: Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. – М.: Наука, 1984. – 240 с.

- Михеев В.Н.** Неоднородность среды и трофические отношения у рыб. – М.: Наука, **2006**. – 191 с.
- Мищенко Е.Ф., Садовничий В.А., Колесов А.Ю., Розов Н.Х.** Автоволновые процессы в нелинейных средах с диффузией. – М.: Физматлит, **2005**. – 431 с.
- Моисеев Н.Н.** Имитационные модели // Наука и человечество. – М.: Знание, **1973**. – С. 259-269.
- Моисеев Н.Н.** Математик задает вопросы...: (Приглашение к диалогу). – М.: Знание, **1975**. – 192 с.
- Моисеев Н.Н.** Проблемы построения «мировой модели» // Число и мысль. – М.: Знание, **1977**. – С. 139-175.
- Моисеев Н.Н.** "Мировая динамика" Форрестера и актуальные вопросы экологической эволюции // Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, **1978**. – С. 149-165.
- Моисеев Н.Н.** Системный анализ динамических процессов биосферы: Системный анализ и математические модели // Вестн. АН СССР. – **1979**. – № 1. – С. 97-108.
- Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, **1981**. – 488 с.
- Моисеев Н.Н.** Комментарии к "Эволюции биосферы" В.А. Костицына // Костицын В.А. Эволюция атмосферы, биосферы и климата. – М.: Наука, **1984**. – С. 46-96.
- Моисеев Н.Н.** «Нужен мешок зерна для будущего посева» // «Знание – сила». – **1999**. – № 9-10. – С. 12-19.
- Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М.** Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. – М.: Наука, **1985**. – 272 с.
- Моисеев Н.Н., Крапивин В.Ф., Свирежев Ю.М., Тарко А.М.** На пути к построению модели динамических процессов в биосфере // Вестн. АН СССР. – **1979**. – № 10. – С. 88-104.
- Молчанов А.М.** Математические модели в экологии. Роль критических режимов // Математические моделирование в биологии. – М.: Наука, **1975**. – С. 133-141.
- Мольер Ж.-Б.** Мещанин во дворянстве // Сочинения. – М.: Книжная палата, **2003**. – С. 885-930.
- Монастырская И.А.** Экологические константы современной культуры // Доклад на конференции "Россия: ключевые проблемы и решения" (Москва, 11 декабря 2008 г.). – **2008**. – <http://www.etnograf.ru/node/619>.
- Монин А.С.** О природе турбулентности // Успехи физ. наук. – **1978**. – Т. 125, № 1. – С. 97-122.
- Моровиц Г.** Исторический очерк // Теоретическая и математическая биология. – М.: Мир, **1968**. – С. 34-47.
- Морозов А.Д.** Введение в теорию фракталов. – М.; Ижевск: Ин-т компьютер. иссл., **2004**. – 160 с.
- Морозов В.Г.** Эволюционное моделирование рядов произвольной вариабельности: необходимость и методика прогнозирования // Изв. СамНЦ РАН. – **2000**. – Т. 2, № 2. – С. 206-215.
- Мостеллер Ф., Тьюки Дж.** Анализ данных и регрессия. – М.: Финансы и статистика, **1982**. – 300 с.
- Мурашкина Т.И., Мещеряков В.А., Бадеева Е.А., Шалобаев Е.В.** Теория измерений: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., **2007**. – 151 с.
- Нагель Э., Ньюмен Д.** Теорема Гёделя. – М.: Знание, **1970**. – 62 с.
- Налимов В.В.** Применение математической статистики при анализе вещества. – М.: Физматгиз, **1960**. – 430 с.

- Налимов В.В.** Теория эксперимента. – М.: Наука, **1971**. – 207 с.
- Налимов В.В.** Что есть истина? // Химия и жизнь. – **1978**. – № 1. – С. 43-49.
- Налимов В.В.** Теоретическая биология? Её всё ещё нет... // Знание – сила. – **1979а**. – № 7. – С. 9-11. – <http://www.biometrika.tomsk.ru/naukoved/nalimov1.htm>.
- Налимов В.В.** Вероятностная модель языка. О соотношении естественных и искусственных языков / 2-е изд. – М.: Наука, **1979б**. – 303 с.
- Налимов В.В.** Анализ оснований экологического прогноза. Паттерн-анализ как ослабленный вариант прогноза // Человек и биосфера. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1983**. – Вып. 8. – С. 31-47.
- Налимов В.В.** Является ли знание научным в той степени, в какой оно математизировано? Биологический аспект проблемы // Математизация современной науки: предпосылки, проблемы, перспективы. М.: АН СССР, **1986**. – С. 103-111. – <http://www.biometrika.tomsk.ru/naukoved/mathem6.htm>.
- Налимов В.В.** В поисках иных смыслов. – М.: Прогресс, **1993**. – 278 с.
- Налимов В.В., Голикова Т.И.** Логические основания планирования эксперимента. – М.: Металлургия, **1981**. – 152 с.
- Налимов В.В., Дрогалина Ж.А.** Трансперсональное движение: возникновение и перспективы развития // Психол. журн. – **1992**. – Т. 13, № 3. – С. 130-139.
- Налимов В.В., Чернова Н.А.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, **1965**. – 340 с.
- Наумов Н.П.** Теоретические основы и принципы экологии // Современные проблемы экологии. – М.: Наука, **1973**. – С. 3-20.
- Наумова Л.Г.** Экология: теория и практика, вчера и сегодня [Рецензия] // Изв. СамНЦ РАН. – **2004**. – Т. 6, № 2. – С. 445-448.
- Наше общее будущее. Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): Пер. с англ. – М.: Прогресс, **1989**. – 376 с. (Our Common Future. World Commission on Environment and Development. – Oxford; N.Y.: Oxford Univ. Press, **1987**. – 400 p.).
- Недорезов Л.В.** Лекции по математической экологии. – Новосибирск: Сибирский хронограф, **1997**. – 161 с.
- Недорезов Л.В., Утюпин Ю.В.** Об одной модели системы хищник–жертва с запаздыванием // Сиб. журн. индустр. матем. – **2003**. – Т. 6, № 4. – С. 67-74.
- Недорезов Л.В., Утюпин Ю.В.** Непрерывно-дискретные модели динамики численности популяций = Continuous-Discrete Models of Population Dynamics: Аналитический обзор. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, **2011**. – 234 с. – (Сер. Экология. Вып. 95).
- Недоступ Л.М.** Чувствительность моделей водных экосистем, находящихся под антропогенным воздействием // Проблемы сохранения, защиты и улучшения качества природных вод. – М.: Наука, **1982**. – С. 139-155.
- Недоступов Э.В., Саранча Д.А.** Один подход к созданию универсальной индивидуально ориентированной модели // Четвертая международная конференция по проблемам управления. Сборник трудов. – М.: Институт проблем управления РАН, **2009**. – С. 870-883.
- Нейронные сети. Statistica Neural Networks. – М.: Горячая линия – Телеком, **2001**. – 182 с.
- Некlessа А.И.** Эпilog истории, или модернизация *versus* ориентализация // Постиндустриальный мир: центр, периферия, Россия. Сборник 2. Глобализация и периферия. – М.: Моск. обществ. науч. фонд, **1999**. – С. 21-42.

- Немченко В.А., Суханов В.В.** Определение площади минимального ареала сообщества // Исследования по математической популяционной биологии. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, **1986**. – С. 106-122.
- Нечаева Н.Т.** Растительность Центральных Каракумов и её продуктивность. – Ашхабад: Ылым, **1970**. – 171 с.
- Нечаева Н.Т., Антонова К.Г., Каршенас С.Д. и др.** Продуктивность растительности Центральных Каракумов в связи с различным режимом использования. – М.: Наука, **1979**. – 255 с.
- Никаноров А.М., Матвеев А.А., Горстко А.Б., Селютин В.В.** Математическая модель как элемент мониторинга природного комплекса озера Байкал // Проблемы экологии Прибайкалья: Тезисы докладов к республиканскому совещанию. Иркутск, 10-13 сентября 1979 г. II. Эколого-генетические вопросы функционирования природных экосистем. III. Математическое моделирование экосистем и популяций. – Иркутск: Изд-во Иркутс. госуниверситета, **1979**. – С. 158-159.
- Николис Г., Пригожин И.** Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М.: Мир, **1979**. – 512 с.
- Николис Г., Пригожин И.** Познание сложного. – М.: Мир, **1990**. – 344 с.
- Никольский Г.В.** Теория динамики стада рыб. – М.: Наука, **1965**. – 381 с.
- Никольский Г.В.** О проблеме вида и видообразования. – М.: Знание, **1972**. – 48 с.
- Ниценко А.А.** О некоторых спорных вопросах теории геоботаники // Ботан. журн. – **1963**. – Т. 48, № 4. – С. 486-501.
- Новосельцев В.Н.** Математическое моделирование в век компьютеров. – М.: ИПУ РАН, **2002**. – http://www.lgkb.kazan.ru/01_1_1/.
- Норин Б.Н.** Растительный покров: ценотическая организация и объекты классификации // Ботан. журн. – **1983**. – Т. 68, № 11. – С. 1449-1455.
- Норин Б.Н.** Некоторые вопросы теории фитоценологии. Ценотическая система, ценотические отношения, фитогенное поле // Ботан. журн. – **1987а**. – Т. 72, № 9. – С. 1161-1174.
- Норин Б.Н.** Ценоячейка, синузия, ценом, растительное сообщество – проблемные вопросы теории фитоценологии // Ботан. журн. – **1987б**. – Т. 72, № 10. – С. 1297-1309.
- Норин Б.Н.** Эдификатор, интегральная (комплексная) фитоценотическая система, агрегация, фитохора, растительность и растительный покров – дискуссионные вопросы теории фитоценологии // Ботан. журн. – **1987в**. – Т. 72, № 11. – С. 1427-1435.
- Нюберг Н.Д.** О познавательных возможностях моделирования // Математическое моделирование жизненных процессов. – М.: Мысль, **1968**. – С. 136-151.
- Одум Г., Одум Э.** Энергетический базис человека и природы. – М.: Прогресс, **1978**. – 380 с. (Odum H.T., Odum E.C. Energy Basis for Man and Nature. – N.Y.: McGraw-Hill Book Company, **1976**. – 307 p.).
- Одум Ю.** Основы экологии. – М.: Мир, **1975**. – 740 с.
- Одум Ю.** Экология: в 2-х т. – М.: Мир, **1986**. – Т. 1. – 328 с.; Т. 2. – 376 с.
- Орлов А.И.** Прикладная теория измерений // Прикладной многомерный статистический анализ. – М.: Наука, **1978**. – С. 68-138.
- Орлов А.И.** Устойчивость в социально-экономических моделях. – М.: Наука, **1979**. – 296 с.
- Орлов А.И.** Непараметрические оценки плотности в топологических пространствах. – Прикладная статистика. – М.: Наука, **1983**. – С. 12-40.
- Орлов А.И.** Статистика объектов нечисловой природы (Обзор) // Заводская лаборатория. – **1990**. – Т. 56, № 3. – С. 76-83.

- Орлов А.И.** Классификация объектов нечисловой природы на основе непараметрических оценок плотности // Проблемы компьютерного анализа данных и моделирования: Сборник научных статей. – Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та, **1991а**. – С.141-148. – <http://www.referat.freecopy.su/referats/42130.rtf>.
- Орлов А.И.** Заметки по теории классификации // Социология: методология, методы, математические модели. – **1991б**. – № 2. – С. 28-50.
- Орлов А.И.** Объекты нечисловой природы // Заводская лаборатория. – **1995**. – Т. 61, № 3. – С. 43-52.
- Орлов А.И.** Экспертные оценки: Учебное пособие. – М., **2002**. – <http://www.aup.ru/books/m154/>.
- Орлов А.И.** Математические методы исследования и диагностика материалов (Обобщающая статья) // Заводская лаборатория. – **2003**. – Т. 69, № 3. – С. 53-64.
- Орлов А.И.** Прикладная статистика. – М.: Экзамен, **2004**. – 656 с.
- Орлов А.И.** Репрезентативная теория измерений и её применение // Высокие статистические технологии. – **URLа**. – <http://antorlov.chat.ru/reprteor.htm>.
- Орлов А.И.** Современная прикладная статистика // Высокие статистические технологии – **URLб**. – <http://antorlov.chat.ru/statistc.htm>.
- Орлов В.А., Саранча Д.А., Шелепова О.А.** Математическая модель динамики численности популяции леммингов (*Lemmus, Dicrostonyx*) и её использование для описания популяций Восточного Таймыра // Экология. – **1986**. – № 2. – С. 43-51.
- Основные понятия языка R: Учебно-методическое пособие / Сост. Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, **2007**. – 30 с.
- Остапеня А.П., Петрович П.Г., Михеева Т.М. и др.** Особенности биологической продуктивности экосистем озера Нарочь, Мястро, Баторино // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. – Минск: Белорус. госуниверситет, **1973**. – С. 83-94.
- Остроумов С.А.** Новые варианты определений понятий и терминов «экосистема» и «биогеоценоз» // Докл. Академии наук (ДАН). – **2002**. – Т. 383, № 4. – С. 571-573.
- Павлов Д.С., Касумян А.О.** Стайное поведение рыб. – М.: Изд-во МГУ, **2003**. – 146 с.
- Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В.** Покатная миграция рыб через плотины ГЭС. – М.: Наука, **2000**. – 255 с.
- Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В.** Механизмы покатной миграции молоди речных рыб. – М.: Наука, **2007**. – 213 с.
- Пайген Х.-О., Рихтер П.Х.** Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем – М.: Мир, **1993**. – 176 с. (Peitgen H.-O., Richter P.H. The Beauty of Fractals. Images of Complex Dynamical Systems. – Heidelberg; N.Y.: Springer-Verlag, **1986**. – 199 p.).
- Пайерлс Р.** Построение физических моделей // Успехи физич. наук. – **1983**. – Т. 140, вып. 2. – С. 315-332.
- Пайс А.** Гении науки. – М.: Ин-т компьют. исслед., **2002**. – 448 с. (Pais A. The Genius of Science [A Portrait Gallery]. – Oxford: Univ. Press, **2000**. – 368 p.).
- Пареле Э.А., Астапенко Е.Б.** Тубифициды (*Oligochaeta: Tubificidae*) – индикаторы качества водоемов // Изв. АН ЛатвССР. – **1975**. – № 9 (338). – С. 44-46.
- Пархоменко В.П., Тарко А.М.** Ядерная зима // Экология и жизнь. – **2000**. – № 3. – С. 44-47.
- Патаракин Е.Д.** Изучение сетевых и общественных феноменов с помощью черепашек // Вопросы Интернет образования. – **URLа**. – № 24. – http://vio.fio.ru/vio_24/cd_site/Articles/art_1_20.htm.

- Патаракин Е.Д.** Краткое описание языка NetLogo и его возможного использования в обучении. – **URLb.** – <http://www.uic.nnov.ru/pustyn/cgi-bin/htconvert.cgi?netlogo.txt>.
- Патин С.А.** Эколого-токсикологические аспекты изучения и контроля качества водной среды // Гидробиол. журн. – **1991.** – Т. 27, № 3. – С. 75-76.
- Патин С.А.** Мифы и реалии системы рыбохозяйственных ПДК (некоторые соображения по поводу ПДК для смесей и ПДК вообще) // Тезисы выступления на Объединенном пленуме Научного совета РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии «Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов» 30 марта 2011 г. (Рукопись). – М.: **2011.** – 4 с.
- Паутова В.Н., Номоконова В.И.** Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **1994.** – 188 с.
- Пейперт С.** Переворот в сознании: дети, компьютеры и плодотворные идеи. – М.: Педагогика, **1989.** – 224 с. (Papert S. Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas. – N.Y.: Basic Books, **1980.** – 252 p.).
- Перегудов В.Н.** Статистические методы обработки данных полевого опыта. – М.: Сельхозгиз, **1948.** – 296 с.
- Перминов В.Д., Саранча Д.А.** Об одном подходе к решению задач популяционной экологии // Математическое моделирование. – **2003.** – Т. 15, № 11. – С. 121-128.
- Перспективы теории фитоценологии. Тезисы симпозиума в Лаэлату-Пухту, 16-20 мая 1988. – Тарту: Изд-во АН ЭССР, **1988.** – 208 с.
- Песенко Ю.А.** Концепция видового разнообразия и индексы его измеряющие // Журн. общ. биол. – **1978.** – Т. 39, № 3. – С. 380-393.
- Песенко Ю.А.** Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, **1982.** – 287 с.
- Песенко Ю.А., Боголюбов А.Г.** Оценка выравненности видов по обилию и сравнительный анализ основных индексов разнообразия // Журн. общ. биол. – **1979.** – Т. 40, № 1. – С. 104-117.
- Петерс Э.** Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике. – М.: Интернет-трейдинг, **2004.** – 304 с.
- Петренко Е.** Дерево – свидетель планетарных бурь // Наука в Сибири. – **2004.** – № 28-29 (2464-2465). – С. 8. – <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/2004/n28-29/f15.html>.
- Петров Ю.П.** Аксиоматический метод в некоторых теориях эволюционной морфологии // Вопр. философии. – **1959.** – № 7. – С. 127-136.
- Петросян Л.А., Захаров В.В.** Введение в математическую экологию. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, **1986.** – 224 с.
- Петросян Л.А., Захаров В.В.** Математические модели в экологии. – СПб.: СПбГУ, **1997.** – 256 с.
- Печуркин Н.С.** Энергия и жизнь. – Новосибирск: Наука, **1988.** – 190 с. (Сер. «От молекулы до организма»).
- Печуркин Н.С., Дегерменджи А.Г.** Аутостабилизация факторов, ограничивающих рост популяций // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по проблемам теоретической кибернетики. – Новосибирск: СО АН СССР, **1977.** – С. 44-45.
- Печуркин Н.С., Шкидченко А.Н.** Явление аутостабилизации факторов, ограничивающих рост микробных популяций в открытых системах // Докл. АН СССР. – **1976.** – Т. 227, № 3. – С. 719-722.
- Пианка Э.** Эволюционная экология. – М.: Мир, **1981.** – 399 с.

- Пирл Р., Рид Л.** Дополнительный комментарий по математической теории роста населения // Самарская Лука: Бюл. – 2006. – № 18. – С. 194-198.
- Плохинский Н.А.** Дисперсионный анализ. – Новосибирск: СО АН СССР, 1960. – 124 с. (2-е изд. – 1964. – 123 с.).
- Плохинский Н.А.** Биометрия. – М.: МГУ, 1970. – 368 с.
- Плохинский Н.А.** Математическое оснащение биологов // Методы современной биометрии. – М.: МГУ, 1978. – С. 27-35.
- Плохинский Н.А.** Алгоритмы биометрии. – М.: МГУ, 1980. – 150 с.
- Подниекс К.М.** Вокруг теоремы Гёделя. – Рига: Латв. гос. ун-т, 1981. – 106 с.
- Подолинский С.А.** Труд человека и его отношение к распределению энергии. – М.: Ноосфера, 1991. – 82 с.
- Полетаев И.А.** Некоторые математические модели биогеоценозов и замечания о моделировании // Математические моделирование жизненных процессов. – М.: Мысль, 1968. – С. 124-135.
- Полетаев И.А.** Модели Вольтерра «хищник–жертва» и некоторые их обобщения с использованием принципа Либиха // Журн. общ. биол. – 1973. – Т. 34, № 1. – С. 43-57.
- Полетаев И.А.** Использование принципа Либиха в математических моделях метаболирующих систем // Имитационное моделирование и экология. – М.: Наука, 1975. – С. 60-64.
- Полетаев И.А.** О некоторых математических моделях популяций с учетом влияния окружающей среды // Журн. общ. биол. – 1979. – Т. 40, № 6. – С. 915-925.
- Полищук Л.В.** Скорость размножения и угроза вымирания вида // Природа. – 2003. – № 7. – С. 12-21.
- Полищук Л.В.** Динамика массы тела в сравнительно-видовом и популяционном аспектах // Изв. СамНЦ РАН. – 2006. – Т. 8, № 1. – С. 80-92.
- Полищук Ю.М.** Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами. – Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
- Полуэктов Р.А.** Вступительная статья // Пых Ю.А. Равновесие и устойчивость в моделях популяционной динамики. – М.: Наука, 1983. – С. 5-8.
- Полуэктов Р.А.** Динамические модели агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
- Полуэктов Р.А.** Развитие математических методов в биологии в СССР и РФ: 1970-2010 (Исторический обзор) // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, 2010а. – С. 9-13.
- Полуэктов Р.А.** AGROTOOL – семейство динамических моделей полевых культур // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, 2010б. – С. 84-87.
- Полуэктов Р.А., Кунаков В.А., Василенко Г.В.** Моделирование транспирации посевов сельскохозяйственных растений // Физиол. растений. – 1997. – Т. 44, № 1. – С. 68-73.
- Полуэктов Р.А., Смысловский А.И., Финтушал С.М.** «СИМОНА» – система имитационного моделирования и язык управления моделями // Теоретические основы и количественные методы программирования урожая. – Л.: ВАСХНИЛ, 1979. – С. 106-112.

- Понятовская В.М., Сырокомская И.В.** Опыт сравнительной оценки участия вида в строении лугового сообщества // Тр. БИН АН СССР. Сер. III. Геоботаника. – Л.: АН СССР, **1960**. – Вып. 12. – С. 127-139.
- Попов И.Ю.** Периодические системы и периодический закон в биологии. – СПб.; М.: Товарищество науч. изд. КМК, **2008**. – 223 с.
- Попова Т.В.** Об изменениях травянистого яруса пойменных лесов р. Большой Инзер в ходе сукцессий // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – **1970**. – Т. 75, вып. 4. – С. 88-94.
- Попович М.В.** Понимание как логико-гносеологическая проблема // Понимание как логико-гносеологическая проблема. – К.: Наук. думка, **1982**. – С. 5-23.
- Поппер К.** Логика и рост научного знания. – М.: Прогресс, **1983**. – 606 с.
- Поппер К.** Что такое диалектика? // Вопр. философии. – **1995**. – №1. – С. 118-138.
- Поппер К.** Логика научного исследования. – М.: Республика, **2004**. – 447 с. – (Мыслители XX века).
- Прейсен А.** Про козленка, который умел считать до десяти // Прейсен А., Муур Л., Баллинт А. Про козленка, который умел считать до десяти. – М.: Росмен, **1998**. – С. 6-23.
- Пригожин И.** От существующего к возникающему. – М.: Наука, **1985**. – 327 с.
- Пригожин И., Стенгерс И.** Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, **1986**. – 432 с. [М.: КомКнига, **2005**. – 296 с.]
- Пригожин И., Стенгерс И.** Время, хаос, квант: К решению парадокса времени. – М.: Прогресс, **1994**. – 265 с.
- Прикладная статистика. Методы обработки данных. Основные требования и характеристики. – М.: ВНИИСтандартизации, **1987**. – 64 с.
- Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии / Под ред. Г.С. Розенберга. – Уфа: БФАН СССР, **1987**. – 179 с.
- Проблемы экологического эксперимента (планирование и анализ наблюдений) / Под ред. Г.С. Розенберга и Д.Б. Гелашвили, сост. и коммент. В.К. Шитикова. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2008**. – 274 с.
- Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов (Методические указания). – М.: Всероссийский НИИ удобрений и агрохимии, **1976**. – 112 с.
- Прогнозирование экологических процессов / Ащепкова Л.Я., Кузьмина А.Е., Мамонтова Л.М. и др. – Новосибирск: Наука, **1986**. – 216 с.
- Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. – Минск: Белорус. госуниверситет, **1973**. – 207 с.
- Прохоров С.А.** Математическое описание и моделирование случайных процессов. – Самара: СГАУ, **2001а**. – 209 с.
- Прохоров С.А.** Аппроксимативный анализ случайных процессов / 2-е изд. – Самара: СГАУ, **2001б**. – 380 с.
- Пузаченко Ю.Г.** Приложение теории фракталов к изучению структуры ландшафта // Изв. РАН, сер. геогр. – **1997**. – № 2. – С. 24-40.
- Пузаченко Ю.Г., Пузаченко А.Ю.** Семантические аспекты биоразнообразия // Журн. общ. биол. – **1996**. – Т. 57, № 1. – С. 5-43.
- Пуховский А.В.** Проверка модели Митчерлиха – Бауле по данным многофакторного опыта Перегудова – Ивановой // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, **2010**. – С. 132-135. – <http://www.agrophys.ru/upload/poluektov/sbornik.pdf>.

- Пуховский А.В., Хохлов Н.Ф.** Метод аппроксимации и калибровки модели Митчерлиха – Спилмана – Бауле – Богуславского // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, **2010**. – С. 128-131. – <http://www.agrophys.ru/upload/poluektov/sbornik.pdf>.
- Пфанцагль И.** Теория измерений. – М.: Мир, **1976**. – 165 с.
- Пых Ю.А.** Равновесие и устойчивость в моделях популяционной динамики. – М.: Наука, **1983**. – 184 с.
- Пых Ю.А.** Экстремальные принципы в современной математической экологии // Труды ИСА РАН. – **2009**. – Т. 42. – С. 104-123.
- Пых Ю.А., Малкина-Пых И.Г.** Об оценке состояния окружающей среды. Подходы к проблеме // Экология. – **1996**. – № 5. – С. 323-329.
- Пых Ю.А., Малкина-Пых И.Г.** Метод функций отклика // Экология. – **1997**. – №3. – С. 168-174.
- Рабинович М.И.** Стохастические колебания и турбулентность // Успехи физ. наук. – **1978**. – Т. 125, № 1. – С. 123-167.
- Работнов Т.А.** Работы Линнея и его учеников в области изучения кормовых растений // Ботан. журн. – **1940**. – Т. 25, № 2. – С. 144-154.
- Работнов Т.А.** О динамичности структуры полидоминантных луговых ценозов // Ботан. журн. – **1965**. – Т. 50, № 10. – С. 1396-1408.
- Работнов Т.А.** Влияние минеральных удобрений на луговые растения и луговые фитоценозы. – М.: Наука, **1973**. – 179 с.
- Работнов Т.А.** Луговедение. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1974**. – 384 с.
- Работнов Т.А.** Изучение ценологических популяций в целях выяснения «стратегии жизни» видов растений // Бюлл. МОИП, отд. биол. – **1975**. – Т. 80, вып. 2. – С. 5-17.
- Работнов Т.А.** Что такое экология с точки зрения ботаника // Вестн. МГУ, сер. биол. – **1979**. – № 1. – С. 47-50.
- Работнов Т.А.** Фитоценология / 2-е изд. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1983**. – 296 с.
- Работнов Т.А.** Экспериментальная фитоценология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1998**. – 240 с.
- Рабочая книга по прогнозированию / Отв. ред. И.В. Бестужев-Лада. – М.: Мысль, **1982**. – 430 с.
- Радаков Д.В.** О приспособительном значении стайного поведения молоди сайды [*Pollachius virens* (L.)] // Вопр. ихтиологии. – **1958**. – Вып. 11. – С. 69-74.
- Радаков Д.В.** Стайность рыб как экологическое явление. – М.: Наука, **1972**. – 174 с.
- Раджабов У.А.** Принцип соответствия в физических теориях // Физическая теория (философско-методологический анализ). – М.: Наука, **1980**. – С. 154-172.
- Развитие геоботаники: история и современность: сборник материалов конференции / Материалы Всероссийской конференции, посвященной 80-летию кафедры геоботаники и экологии растений Санкт-Петербургского (Ленинградского) государственного университета и юбилейным датам её преподавателей (Санкт-Петербург, 31 января – 2 февраля 2011 г.). – СПб.: СПб. ун-т, **2011**. – 136 с.
- Разумовский О.С.** Три подводных камня концепции устойчивого развития человечества. – **1997**. – http://www.philosophy.nsc.ru/journals/humscience/1_97/01_razum.htm.
- Разумовский С.М.** Закономерности динамики биоценозов. – М.: Наука, **1981**. – 231 с.

- Разумовский С.М.** Избранные труды / Под ред. К.В. Киселевой, О.Г. Чертова. – М.: КМК Scientific Press, **1999**. – 560 с.
- Райс Э.** Аллелопатия. – М.: Мир, **1978**. – 392 с.
- Раменский Л.Г.** К методике сравнительной обработки и систематизации списков растительности и других объектов, определяемых несколькими несходно действующими факторами // Труды Совещания геоботаников-луговедов. – Л.: ГЛИ, **1929**. – С. 1-26.
- Раменский Л.Г.** Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. – М.: Сельхозгиз, **1938**. – 619 с.
- Рассел Б.** Философский словарь разума, материи и морали. – К.: Port-Royal, **1996**. – 368 с.
- Растринин Л.А., Марков В.А.** Кибернетические модели познания: Вопросы методологии. – Рига: Зинатне, **1976**. – 268 с.
- Ратнер В.А.** Вместо рецензии: впечатление о книге С.Э. Шноля "Физико-химические факторы биологической эволюции" // Журн. общ. биол. – **1980**. – Т. 41, № 5. – С. 794-796.
- Рахматуллина З.Я.** Экологическая константа нашей духовности // Бельские просторы. – **2000**. – № 1. – С. 175-185.
- Рахуба А.В.** Пространственно-временная изменчивость качества вод Саратовского водохранилища в условиях неустановившегося гидродинамического режима: натурные эксперименты и численное моделирование: Дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, **2007**. – 188 с.
- Рашевски Н.** Некоторые медицинские аспекты математической биологии. – М.: Медицина, **1966**. – 243 с.
- Рашевский Н.** Математические основы общей биологии // Математическое моделирование жизненных процессов. – М.: Мир, **1968**. – С. 271-282.
- Реале Дж., Антисери Д.** Западная философия от истоков до наших дней. Т. 4. От романтизма до наших дней. – СПб.: Петрополис, **1997**. – 849 с.
- Ревуцкая О.Л., Неверова Г.П.** Оценка ресурсного потенциала промысловых млекопитающих Среднего Приамурья России // Педагогический вест. ЕАО. – **2007**. – № 1. – С. 9-11.
- Реймерс Н.Ф.** Системные основы природопользования // Философские проблемы глобальной экологии. – М.: Наука, **1983**. – С. 121-161.
- Реймерс Н.Ф.** Теоремы экологии // Экологизация. – Свищов (Болгария): ВФСИ "Д.А. Ценов", **1984**. – С. 158-170.
- Реймерс Н.Ф.** Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, **1990**. – 637 с.
- Реймерс Н.Ф.** Экология. Законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, **1994**. – 367 с.
- Рейсер С.А.** «Все мы вышли из гоголевской "Шинели"» // Вопр. литерат. – **1968**. – № 2. – С. 184-187.
- Рекомендации по прогнозированию качества поверхностных вод. – М.: ВНИИ транспорт. строит., **1984**. – 44 с.
- Ризниченко Г.Ю.** Нелинейное естественно-научное мышление и экологическое сознание // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. – М.: Прогресс-Традиция, **2000**. – С. 468-478.
- Ризниченко Г.Ю.** Лекции по математическим моделям в биологии. Ч. 1: Описание процессов в живых системах во времени. – М.; Ижевск: Науч.-издат. центр "Регулярная и хаотическая динамика", **2002**. – 232 с.
- Ризниченко Г.Ю.** Математические модели в биофизике и экологии. – Москва; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., **2003**. – 184 с.

- Ризниченко Г.Ю.** Популяционная динамика. – URL. – <http://www.library.biophys.msu.ru/MathMod/PD.HTML>.
- Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б.** Математические модели биологических продукционных процессов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1993**. – 302 с.
- Рикер В.Е.** Запас и пополнение (о теории регулирования популяции рыб) // Материалы международной конференции по охране запасов рыб и других морских животных. Кн. 1. – М.: Рыбное хоз-во, **1957**. – С. 51-93.
- Рикер У.Е.** Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. – М.: Пищ. пром-ть, **1979**. – 408 с.
- Риклефс Р.** Основы общей экологии. – М.: Мир, **1979**. – 424 с.
- Роджерс К.** Укладки и покрытия. – М.: Мир, **1968**. – 134 с.
- Розенберг А.Г.** Комментарий к статье Роберта Костанцы с соавторами ("Nature", 1997) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии: Бюл. – **2011а**. – Т. 20, № 1. – С. 184-193.
- Экологический сборник 3: Труды молодых ученых Поволжья. – Тольятти: Кассандра, **2011б**. – С. 206-210.
- Розенберг Г.С.** О сравнении различных методов автоматической классификации // Автоматика и телемеханика. – **1975**. – № 9. – С. 145-148.
- Розенберг Г.С.** Некоторые вопросы оптимизации процесса распознавания среды по растительности // Аспекты оптимизации количественных исследований растительности. – Уфа: БФАН СССР, **1976а**. – С. 6-34.
- Розенберг Г.С.** Об оценке точности планируемого числа наблюдений // Биол. науки. – **1976б**. – № 3. – С. 125-129.
- Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Журн. общ. биол. – **1978**. – Т. 39, № 5. – С. 796-798. – Рец. на кн.: Гильманов Т.Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 169 с.
- Розенберг Г.С.** Вероятностный подход к изучению временной структуры растительного покрова // Журн. общ. биол. – **1980а**. – Т. 41, № 3. – С. 372-385.
- Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Журн. общ. биол. – **1980б**. – Т. 41, № 1. – С. 155-157. – Рец. на кн.: Имитационная модель растительного сообщества / Под ред. Г. Иннайса. – 1978.
- Розенберг Г.С.** Математическое моделирование фитоценологических систем // Бюл. МОИП, отд. биол. – **1980в**. – Т. 85, № 2. – С. 79-88.
- Розенберг Г.С.** Сравнение различных методов экологического прогнозирования. Прогноз динамики экосистем. // Экология. – **1981а**. – № 1. – С. 12-18.
- Розенберг Г.С.** Состояние и проблемы имитационного моделирования фитоценологических систем // Успехи совр. биол. – **1981б**. – Т. 91, вып. 2. – С. 293-307.
- Розенберг Г.С.** Квазиимитационная модель динамики луговых фитоценозов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – **1981в**. – Т. 86, № 2. – С. 71-79.
- Розенберг Г.С.** Применение модели Лесли для описания возрастной структуры ценопопуляции овсеца Шелля [*Helictotrichon schellianum* (Hack.) Kitag.] // Биол. науки. – **1982**. – № 9. – С. 64-71.
- Розенберг Г.С.** Математические модели экологического прогнозирования // Человек и биосфера. Вып. 8. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1983а**. – С. 86-108.
- Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Бот. журн. – **1983б**. – Т. 68, № 4. – С. 557-560. – Рец. на: Спец. выпуск журн. "Vegetation". – 1980. – V. 42, № 1-3. – 188 р.
- Розенберг Г.С.** Модели в фитоценологии. – М.: Наука, **1984**. – 240 с.

- Розенберг Г.С.** Странный аттрактор в модели растительного сообщества на ранней стадии сукцессии // Математическое моделирование в биогеоценологии: Тез. докл. Всесоюз. шк. – Петрозаводск: АН СССР, **1985**. – С. 199-201.
- Розенберг Г.С.** Устойчивость экосистем и её математическое описание // Экологические проблемы гомеостаза в биогеоценозе. – Уфа: БФАН СССР, **1986**. – С. 120-130.
- Розенберг Г.С.** Эвристики современной фитоценологии // Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии. – Уфа: БФАН СССР, **1987**. – С. 5-17.
- Розенберг Г.С.** О системной экологии // Журн. общ. биол. – **1988**. – Т. 49, № 5. – С. 580-591.
- Розенберг Г.С.** Адекватность математического моделирования экологических систем // Экология. – **1989а**. – № 6. – С. 8-14.
- Розенберг Г.С.** Теоретический анализ связи между площадью описания и числом встречаемых видов // Биол. науки. – **1989б**. – № 11. – С. 76-83.
- Розенберг Г.С.** К построению системы концепций современной экологии // Журн. общ. биол. – **1991а**. – Т. 52, № 3. – С. 422-440.
- Розенберг Г.С.** О структуре теоретической фитоценологии // Теоретические проблемы эволюции и экологии. – Тольятти: ИЭВБ АН СССР, **1991б**. – С. 127-138.
- Розенберг Г.С.** О периодизации экологии // Экология. – **1992**. – № 4. – С. 3-19.
- Розенберг Г.С.** Экологические аспекты системологии // Интеллект и выживание. Системный подход: Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: СамОДНиТ, **1993**. – С. 54-56.
- Розенберг Г.С.** Экологическая экономика и экономическая экология: состояние и перспективы (с примерами по экологии Волжского бассейна) // Экология. – **1994**. – № 5. – С. 3-13.
- Розенберг Г.С.** Процедуры измерения в системе «основания» экологической теории // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Вторые Любимцевские чтения). – Тольятти: Интер-Волга, **1995**. – С. 47-57.
- Розенберг Г.С.** Информационная система REGION-VOLGABAS как основа регионального мониторинга биоразнообразия // Мониторинг биоразнообразия. – М.: РАН, **1997**. – С. 233-236.
- Розенберг Г.С.** Количественные методы фитоиндикации // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть III. – Н. Новгород: ННГУ, **1998**. – С. 5-27.
- Розенберг Г.С.** Анализ определений понятия «экология» // Экология. – **1999а**. – № 2. – С. 89-98.
- Розенберг Г.С.** О теоретических конструкциях современной экологии // Экология и человечество на пороге XXI века. Проблемы охраны окружающей среды и здоровья человека: Материалы II Международной открытой сессии "Modus Academicus". – Ульяновск: УлГУ, **1999б**. – С. 21-30.
- Розенберг Г.С.** Модели потенциальной эффективности сложных систем как инструмент анализа экологических феноменов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды международной конференции. – Самара: СНЦ РАН, **1999в**. – С. 333-338.
- Розенберг Г.С.** Методы аналитического моделирования колебательных процессов в экосистемах // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть IV: Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, **2000а**. – С. 55-88.

- Розенберг Г.С.** Эколого-гомологические ряды разных масштабов // Изв. СамНЦ РАН. – **2006б.** – Т. 2, № 2. – С. 185-190.
- Розенберг Г.С.** Идеализированный объект и фундаментальные понятия современной экологии (с примерами из экологии растительности) // Поволж. экол. журн. – **2002а.** – № 3. – С. 246-256.
- Розенберг Г.С.** О книге А.Ф. Алимова "Элементы теории функционирования водных экосистем" [Рецензия] / Биология внутр. вод. – **2002б.** – № 2. – С. 106-109. – Рец. на кн.: Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб: Наука, 2000. – 147 с.
- Розенберг Г.С.** Параметры сбалансированного развития территорий, или «в каких популяциях измерять устойчивое развитие» // Экологическая политика и устойчивое развитие регионов России. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МАНЭБ, **2002в.** – С. 26-28.
- Розенберг Г.С.** Конспект построения теоретической экологии // Изв. СамНЦ РАН. – **2003а.** – Т. 5, № 2. – С. 189-206.
- Розенберг Г.С.** О моделях потенциальной эффективности экологических систем // Изв. СамНЦ РАН. – **2003б.** – Спец. вып. "Проблемы современной экологии". Вып. 1. – С. 34-43.
- Розенберг Г.С.** Лики экологии. – Тольятти: СамНЦ РАН, **2004.** – 224 с.
- Розенберг Г.С.** О путях построения теоретической экологии // Успехи совр. биол. – **2005а.** – Т. 125, вып. 1. – С. 14-27.
- Розенберг Г.С.** Модели потенциальной эффективности популяций и экологических систем // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. биол. – **2005б.** – Вып. 1(9). – С. 163-180.
- Розенберг Г.С.** Системно-методологические проблемы современной экологии // Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). – Тольятти: СамНЦ РАН, **2005в.** – С. 22-36.
- Розенберг Г.С.** Некоторые направления построения фитоценологической теории // Изв. СамНЦ РАН. – **2006а.** – Т. 8, № 2. – С. 527-547.
- Розенберг Г.С.** К истории модели логистического роста // Самарская Лука: Бюл. – **2006б.** – № 18. – С. 188-193.
- Розенберг Г.С.** Статистические методы в фитоценологии на рубеже тысячелетий (к 50-летию выхода монографии П. Грейг-Смита) // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. – Петрозаводск: КарелНЦ РАН, **2007а.** – С. 72-116.
- Розенберг Г.С.** Линней, агроэкология, сестайнинг // Аграрная Россия. – **2007б.** – № 5. – С. 20-23.
- Розенберг Г.С.** Несколько слов об индексе разнообразия Симпсона // Самарская Лука: Бюл. – **2007в.** – Т. 16, № 3(21). – С. 581-584.
- Розенберг Г.С.** Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти: Кассандра, **2009.** – 478 с.
- Розенберг Г.С.** Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер... // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии: Бюл. – **2010а.** – Т. 19, № 2. – С. 4-25.
- Розенберг Г.С.** Еще раз к вопросу о том, что такое «экология»? // Биосфера. – **2010б.** – Т. 2, № 3. – С. 324-335.
- Розенберг Г.С.** Карл Линней и экология // Биосфера. – **2010в.** – Т. 2, № 2. – С. 257-275.

- Розенберг Г.С.** [Рецензия] // Уч. зап. Казанского ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2010г. – Т. 152, кн. 3. – С. 275-278. Рец. на кн.: Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N., Saveliev A.A., Smith G.M. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. – Berlin et al.: Springer Sci., 2009. – 574 p. (Ser.: Statistics for Biology and Health).
- Розенберг Г.С.** А.А. Любишев о применении математики и биометрии в биологии (с экологическими комментариями и пояснениями) // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Пятое Любишевские чтения). – Тольятти: Кассандра, 2010д. – С. 5-12.
- Розенберг Г.С., Брусиловский П.М.** Об адекватности экологического моделирования // Статистический анализ и математическое моделирование фитоценологических систем. – Уфа: БФАН СССР, 1982. – С. 6-17.
- Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Иудин И.Д.** Фрактальная организация экосистем: *сui prodest*? // Эколого-географические проблемы природопользования нефтегазовых регионов: Теория, методы, практика: Материалы II Международ. науч.-практ. конф. – Нижневартовск: НГПИ, 2003в. – С. 342-347.
- Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Иудин И.Д.** Фрактальная организация экосистем: нужно ли это нам? // Экологические проблемы заповедных территорий России. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003г. – С. 61-68.
- Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Иудин И.Д.** Фракталы – новый язык теоретической экологии // Сборник трудов Первого международного экологического конгресса (третьей международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT 2007. (20-23 сентября 2007 г., Тольятти, Россия). Т. 1. – Тольятти: ТолГУ, 2007. – С. 4-9.
- Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Краснощеков Г.П.** Крутые ступени перехода к устойчивому развитию // Вестн. РАН. – 1996. – Т. 66, № 5. – С. 436-440.
- Розенберг Г.С., Дологовский И.М.** Еще раз о показателях силы влияния // Биол. науки. – 1988. – № 9. – С. 105-110.
- Розенберг Г.С., Дунин Д.П.** Базы экологических знаний: технология создания и предварительные результаты // Изв. Самар. НЦ РАН. – 1999. – № 2. – С. 186-192.
- Розенберг Г.С., Костина Н.В., Лифиренко Н.Г., Лифиренко Д.В.** Экологическая оценка территории Волжского бассейна с использованием обобщенной функции желательности // Изв. СамНЦ РАН. – 2010. – Т. 12, № 1/9. – С. 2324-2327.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П.** Пейзаж в интерьере (экологические проблемы Татарстана на фоне Волжского бассейна) // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. – Казань: АНТ, 1997. – С. 266-271.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Гелашвили Д.Б.** Мальтус, Циолковский, Котляков и проблемы устойчивого развития и народонаселения // Изв. ДВО РАН, сер. биол. – 1997а. – № 2. – С. 8-12.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Гелашвили Д.Б.** Опыт достижения устойчивого развития на территории Волжского бассейна // Устойчивое развитие. Наука и практика. – 2003а. – № 1. – С. 19-31.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Крылов Ю.М. и др.** Устойчивое развитие: мифы и реальность. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998а. – 191 с.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Саксонов С.В.** Календарь эколога. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003б. – 174 с.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Сульдимиров Г.К.** Экологические проблемы города Тольятти. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1995. – 222 с.

- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Феоктистов В.Ф.** Экологические аспекты устойчивого развития: теория и конструктивные предложения // Жизнь и безопасность. – 1997б. – № 1. – С. 192-198.
- Розенберг Г.С., Крестин С.В., Морозов В.Г.** Конструктивный системный подход к оценке экологического статуса волжских водохранилищ // Третий Междунар. конгресс «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК-98: Тез. докл. – М.: МПР РФ, 1998б. – С. 115-116.
- Розенберг Г.С., Мозговой Д.П.** Узловые вопросы современной экологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1992. – 139 с.
- Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. – Самара: СНЦ РАН, 1999. – 396 с.
- Розенберг Г.С., Наумова Л.Г., Бурцева Е.И.** О математической корректности индекса ТКД // Экология и ценология лугов Центральной Якутии. – Якутск: ЯГУ, 1978. – С. 165-169.
- Розенберг Г.С., Розенберг А.Г.** Эколога-социологический анализ сценариев устойчивого развития // Вестн. Волж. ун-та им. В.Н. Татищева, сер. экология. – Вып. шестой. – Тольятти: ВУиТ, 2006. – С. 103-115.
- Розенберг Г.С., Рудерман С.Ю.** Анализ одной процедуры создания сообщений // Тезисы II Всесоюзной конференции по технической кибернетике. – Минск: АН СССР, 1969. – С. 11-12.
- Розенберг Г.С., Рудерман С.Ю.** О количестве независимых, одинаково распределенных случайных величин, разделяющих одноименные поворотные точки // Статистический анализ и моделирование процессов и систем. Вып. 4. – Таганрог: Изд-во ТРТИ, 1977. – С. 107-109.
- Розенберг Г.С., Рянский Ф.Н.** Теоретическая и прикладная экология: Учебное пособие. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 2004. – 294 с. (Учебная книга. Вып. 8).
- Розенберг Г.С., Рянский Ф.Н., Шустов М.В.** Краткий курс современной экологии. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 228 с.
- Розенберг Г.С., Смелянский И.Э.** Экологический маятник (Смена парадигм в современной экологии) // Журн. общ. биол. – 1997. – Т. 58, № 4. – С. 5-19.
- Розенберг Г.С., Феоктистов П.А.** Прогнозирование годового прироста деревьев методами самоорганизации // Экология. – 1982. – № 4. – С. 43-50.
- Розенберг Г.С., Черникова С.А., Краснощеков Г.П. и др.** Мифы и реальность «устойчивого развития» // Проблемы прогнозирования. – 2000. – № 4. – С. 130-154.
- Розенберг Г.С., Шитиков В.К.** Экологическая информационная система Волжского бассейна "VOLGABAS" // Теоретические и прикладные проблемы экологии: Тез. докл. Всерос. конф. – Чита: СО РАН, 1992. – С. 111-112.
- Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М.** Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. – 185 с.
- Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Мозговой Д.П.** Экологическая информатика: Учебное пособие. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1993. – 151 с.
- Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Цейтлин Н.А.** Теоретические основы оптимального планирования эксперимента и обработки многофакторных опытов // Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений). – Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, 2008. – С. 170-211.

- Рокицкий П.Ф.** Биологическая статистика. – Минск: Вышэйшая шк., **1973.** – 320 с.
- Романов М.Ф., Фёдоров М.П.** Математические модели в экологии. – СПб.: Академия, **2004.** – 272 с. (1-е изд. СПб.: СПбГТУ, 2001. – 232 с.; 2-е изд. СПб.: Изд-во "Иван Фёдоров", 2003. – 240 с.).
- Романов Н.С.** Флуктуирующая асимметрия лососей заводского и естественного воспроизводства // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 1. – Владивосток: Дальнаука, **2001.** – С. 328-335.
- Романов Н.С.** Флуктуирующая асимметрия некоторых признаков у морской малоротой корюшки *Hypomesus japonicus* (Osmeridae) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. – **2010.** – № 3. – С. 37-43.
- Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С.** Математическое моделирование в биофизике. – М.: Наука, **1975.** – 343 с.
- Ромашин А.В.** Эколого-популяционный анализ высокогорных копытных животных Западного Кавказа и их рациональное использование. – Сочи: КГБЗ, **2001.** – 183 с.
- Росс Ю.** К математическому описанию роста растений // Докл. АН СССР (ДАН). – **1966.** – Т. 171, № 2. – С. 481-483.
- Росс Ю.К.** Радиационный режим и архитектура растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, **1975а.** – 344 с. (Ross J. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands. – The Hague et al.: Dr. W. Junk Publ., **1981.** – 391 p.).
- Росс Ю.К.** Математическое моделирование продукционного процесса и урожая // Программирование урожая сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, **1975б.** – С. 415-426.
- Росс Ю.К.** Проблемы математического моделирования продукционного процесса растений // Вестн. с.-х. науки. – **1988.** – № 4. – С. 20-23.
- Росс Ю., Князихин Ю., Кууск А. и др.** Математическое моделирование переноса солнечной радиации в растительных средах. – Л.: Гидрометеиздат, **1992.** – 197 с.
- Рубин А.Б., Ризниченко Г.Ю.** Математические модели в экологии // Итоги науки и техники. Сер. Математическая биология и медицина. Т. 2. – М.: ВИНТИ, **1988.** – С. 113-172.
- Рудерман С.Ю.** Вопросы надежности и поиска неисправностей в системах с учетом вероятностного режима использования элементов // Изв. АН СССР. Техн. киберн. – **1963.** – № 6. – С. 131-138.
- Рудерман С.Ю.** Надежность системы при случайном режиме её использования // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – **1965.** – № 6. – С. 38-40.
- Рудерман С.Ю.** Надежность систем при случайных режимах использования их элементов // Анализ и синтез систем автоматического управления. – М.: Наука, **1968.** – С. 129-135.
- Рудерман С.Ю.** Деление целого на части и их оптимальное разнообразие // Преодоление сложности в задачах организации и управления. Межвузовский научный сборник. – Уфа: Изд-во БГУ, **1983.** – С. 5-11.
- Рудерман С.Ю.** О формировании «сообщений» в биополимерах. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **1994.** – 21 с.
- Рузавин Г.И.** Гипотетико-дедуктивный метод // Логика и эмпирическое познание. – М.: Наука, **1972.** – С. 86-113.
- Рулье К.Ф.** Избранные биологические произведения. – М.: АН СССР, **1954.** – 688 с.
- Рухленко И.А.** Общие стратегии выживания организмов как причина возникновения биоразнообразия Земли // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Четвертые Люблинские чтения). – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2005.** – С. 180-191.

- Рыбаков В.А., Покрышкин А.Л.** Совместима ли психология и естественнонаучная парадигма. – Томск: Дельтаплан, **2005**. – 28 с.
- Рябинина З.Н.** Растительный покров степей Южного Урала (Оренбургская область). – Оренбург: Изд-во ОГПУ, **2003**. – 224 с.
- Саати Т.** Математические методы исследования операций. – М.: Воениздат, **1963**. – 420 с.
- Саввантова К.А., Павлов Д.С., Кузицин К.В. и др.** Экологические аналогии у тихоокеанской миноги *Lethenteron camtschaticum* и микижи *Parasalmo mykiss* Камчатки // Вopr. ихтиологии. – **2007**. – Т. 47, № 3. – С. 296-302.
- Савельев А.А.** Моделирование пространственной структуры растительного покрова (геоинформационный аспект). – Казань: Каз. госуниверситет, **2004**. – 244 с.
- Савенко О.В.** Количественные показатели флор подрайонов Мелекесско-Ставропольского района, их свойства, способы сравнения // Экологический сборник 2: Труды молодых ученых Поволжья. – Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, **2009**. – С. 161-168.
- Савин Ф.А., Гонгальский К.Б., Покаржевский А.Д.** Необходимый объем выборки при учете численности и таксономического разнообразия крупных почвенных беспозвоночных в разных природных зонах // Экология. – **2006**. – № 1. – С. 39-44.
- Саксонов С.В.** Новый вид рода *Cerastium* (*Caryophyllaceae*) с Жигулей // Ботан. журн. – **1990**. – Т. 75, № 8. – С. 1168-1169.
- Саксонов С.В., Конева Н.В.** Карл Линней: параллели. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2007**. – 140 с.
- Самарский А.А.** Что такое вычислительный эксперимент? // Наука и жизнь. – **1979**. – № 3. – С. 27-33.
- Самарский А.А., Михайлов А.П.** Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука, **1997**. – 320 с.
- Саранча Д.А.** Биомоделирование. – М.: ВЦ РАН, **1995**. – 102 с.
- Саранча Д.А.** Количественные методы в экологии. Биофизические аспекты и математическое моделирование. – М.: МФТИ, **1997**. – 283 с.
- Саранча Д.А.** Использование точных методов в описательных науках (на эколого-биологических примерах) // Международная конференция по прикладной математике и информатике, посвященная 100-летию со дня рождения академика А.А. Дородницына (ВЦ РАН, Москва, 7-11 декабря 2010 г.). Тезисы докладов. – М.: ВЦ РАН, **2010**. – С. 201-203. – <http://www.ccas.ru/dorodnicyn-100/paper/dorodnicyn100.pdf>.
- Саранча Д.А., Сорокин П.А., Фролова А.А.** Математическое моделирование динамики численности популяций животных. – М.: ВЦ РАН, **2005**. – 27 с.
- «Сбежавшая» трава для гольфа. – **2007**. – <http://www.cjx.ru/gmo/Sbezhavshaja-trav>. (New Scientist – 2006. – № 2564 – P. 9).
- Свентицкий Иг.И., Свентицкий И.И.** Антивещество, отрицательная энергия и энергетическая экстремальность самоорганизации. – **2004**. – <http://www.viesh.ru/Anti.htm>; <http://www.veinik.ru/science/fizmat/article/602.html>.
- Свирижев Ю.М.** О математических моделях биологических сообществ и связанных с ними задачах управления и оптимизации // Математическое моделирование в биологии. – М.: Наука, **1975**. – С. 30-52.
- Свирижев Ю.М.** Вито Вольтерра и современная математическая экология // Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, **1976**. – С. 245-286.
- Свирижев Ю.М.** Математические модели биологических сообществ // Итоги науки и техники. Математическая биология и медицина. – М.: ВИНТИ, **1978**. – Т. 1. – С. 117-165.

- Свирижев Ю.М.** Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. – М.: Наука, **1987**. – 368 с.
- Свирижев Ю.М., Александров Г.А., Арманд А.Д. и др.** Математические модели экосистем. Экологические и демографические последствия ядерной войны. – М.: Наука, **1986**. – 176 с. (английская версия: Svirezhev Y.M., Alexandrov G.A., Arkhipov A.D. et al. Ecological and Demographic Consequences of a Nuclear War (Simulation Approach). – Berlin: Akademie-Verlag, **1987**. – 221 p.; немецкая версия: Svirezhev J.M., Aleksandrov G.A., Arkhipov P.L. et al. Gotterdammerung Globale Folgen eines atomaren Konflikts. – Berlin: Akademie-Verlag, **1990**. – 261 p.).
- Свирижев Ю.М., Аматауни А.А., Барский И.Л. и др.** Модели пространственно распределенных двухуровневых экосистем с малой подвижностью на нижнем уровне // Статистический анализ и математическое моделирование фитоценологических систем. – Уфа: БФАН СССР, **1982**. – С. 18-31.
- Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.** Устойчивость биологических систем. – М.: Наука, **1978**. – 352 с.
- Свирижев Ю.М., Сидорин А.П.** О вырождении популяций в случайной среде // Журн. общ. биол. – **1979**. – Т. 40, № 6. – С. 851-859.
- Северный морской котик: систематика, морфология, экология, поведение / Под ред. В.Е. Соколова и др. – М.: ИПЭЭ РАН, **1998**. – Ч. 1. – 405 с. – Ч. 2. – С. 406-942.
- Северцов С.А.** Проблемы экологии животных. Неопубликованные работы. Том 1. – М.: Изд-во АН СССР, **1951**. – 172с.
- Селезнёв В.А.** Методология мониторинга и регулирования антропогенного воздействия на качество вод водохранилищ волжско-камского каскада: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Н. Новгород, **1999**. – 47 с.
- Селезнёв В.А., Рубцов М.Г., Купер В.Я., Розенберг Г.С.** Оценка пространственной неоднородности качества вод Саратовского водохранилища // Изв. СамНЦ РАН. – **1999**. – Т. 1, № 2. – С. 204-211.
- Селезнёва А.В.** От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, **2007**. – 105 с.
- Селезнёва А.В., Селезнёв В.А.** От локального мониторинга к регулированию сброса загрязняющих веществ в водные объекты // Водное хозяйство России. – **2008**. – № 2. – С. 4-20.
- Селютин В.В.** К вопросу адекватности экологических моделей // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования. – Ростов-на-Дону: Ростов. госун-т, **1987**. – С. 118.
- Селютин В.В.** Математическое моделирование экосистемы Азовского моря: история и перспективы // Научно-общественные чтения по проблемам экологии и охраны природы Азовского моря: Тезисы докладов. – Мариуполь: Мариуп. гос. гуман. ун-т, **1991**. – С. 21-22.
- Семенова Н.Н.** Эволюция математического описания в моделировании агроэкологических процессов // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, **2010**. – С. 24-28.
- Семовский С.В.** Стохастическая модель стаи рыб – от индивидуального поведения к групповому // Матем. моделир. – **1989**. – Т. 1, № 6. – С. 49-55.
- Сенина И.Н., Тютюнов Ю.В.** Моделирование стаеобразования как следствия автотаксиса // Журн. общ. биол. – **2002**. – Т. 63, № 6. – С. 483-488.

- Сердюцкая Л.Ф.** Верификация экологических моделей круговорота азота (на примере Кременчугского водохранилища): Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, **1984**. – 134 с.
- Сердюцкая Л.Ф.** Многомерный подход к анализу модельных данных на примере водных объектов // Гидробиолог. журн. – **2004**. – Т. 40, № 2. – С. 104–112.
- Сеченов И.М.** Избранные произведения. Том I. Физиология и психология. – М.: Изд-во АН СССР, **1952**. – 772 с.
- Сёмкин Б.И.** Об аксиоматическом подходе к определению мер различия и квазиразличия на семействах множеств // Информационные методы в системе управления, измерения и контроля. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, **1972**. – Т. 1. – С. 208–213.
- Сидельников В.М.** Новые оценки для плотнейшей упаковки шаров в n -мерном евклидовом пространстве // Матем. сб. – **1974**. – Т. 95 (137), № 1 (9). – С. 148–158.
- Сидорина Т.Ю.** Регулятивные принципы // Философский словарь. – URL. – <http://filoslov.ru/text/r/page/18>.
- Сильвестров Д.С.** Программное обеспечение прикладной статистики. Обзор состояния. Тенденции развития. – М.: Финансы и статист., **1988**. – 240 с.
- Симак С.В.** Основы общей экологии: экологические конспекты. Учебное пособие. – Самара: Самар. гос. сельхоз. академия, **1995**. – 154 с.
- Синельников К.Ю.** Обзор многолетних газонных трав для зеленого строительства, дорожного строительства и рекультивации земель. – **1998**. – http://www.vitusltd.ru/obzor_trav.html.
- Скворцов Г.Е.** Система законов природы. – СПб.: Петрополис, **2004**. – 116 с. – (Сер. Галерея миров).
- Скомаркова М.В., Ваганов Е.А., Вирт К., Кирдянов А.В.** Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири // Геогр. и природ. ресурсы. – **2009**. – № 2. – С. 80–85.
- Скурихин А.Н.** Генетические алгоритмы // Новости искусственного интеллекта. – **1995**. – № 4. – С. 6–46.
- Слоэн Н.Д.А.** Упаковка шаров // В мире науки – Scientific American. – **1984**. – № 3. – С. 72–82.
- Слуцкий Е.Е.** Теория корреляции и элементы учения о кривых распределения // Изв. Киев. коммерч. ин-та. – **1912**. – Кн. XVI. – С. 3–208.
- Слуцкий Е.Е.** О сложении случайных величин как причине циклических процессов // Вопросы конъюнктуры. – **1927**. – Т. 3, № 1. (см.: Слуцкий Е.Е. Избранные труды. Теория вероятности и математическая статистика. – М.; Л.: АН СССР, **1960**. – С. 99–132).
- Смелянский И.Э.** Механизмы сукцессии // Успехи совр. биол. – **1993**. – Т. 113, вып. 1. – С. 36–45.
- Сметанин М.М.** Статистические методы в экологии рыб. – Борок: ИБВВ РАН, **2003**. – 200 с.
- Смиряев А.В., Исачкин А.В., Харрасова Л.К.** Моделирование: от биологии до экономики. Учебное пособие. – М.: Изд-во МСХА, **2002**. – 122 с.
- Снедекор Д.У.** Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. – М.: Сельхозгиз, **1961**. – 503 с.
- Соколов В.Е.** Предисловие редактора перевода // Одум Ю. Экология: В 2-х т. – М.: Мир, **1986**. – Т. 1. – С. 5–9.
- Солдатова В.Ю.** Флуктуирующая асимметрия березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества городской среды и территорий, подверженных ан-

- тропогенному воздействию: на примере Якутии: Дисс. ... канд. биол. наук. – Якутск, 2006. – 139 с.
- Сонечкин Д.М.** Динамико-стохастический подход к задачам объективного анализа данных разнородных метеорологических наблюдений // Труды Гидрометцентра СССР. – 1976. – Вып. 181. – С. 59-76.
- Сорокин П.А.** Моделирование биологических популяций с учетом свойств отдельной особи // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2002. – С. 1122-1136. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/103.pdf>.
- Сорокин П.А.** Классификация методов индивидуум-ориентированного моделирования // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2003. – С. 574-588. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/050.pdf>.
- Сорокин П.А.** Моделирование биологических популяций с использованием комплексных моделей, включающих в себя индивидуум-ориентированные и аналитические компоненты: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Долгопрудный, 2004. – 153 с.
- Сорокин П.А., Бугаев А.С.** Переход к энергетическому описанию процессов при построении индивидуум-ориентированных моделей // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2003. – С. 227-244. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/023.pdf>.
- Сорокин П.А., Моралес Х.М.** Исследование механизмов пространственного перемещения популяции оленя Вапити // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2004. – С. 547-576. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/052.pdf>.
- Сорокин П.А., Саранча Д.А.** Обоснование популяционных уравнений с помощью имитационного моделирования // Успехи соврем. радиоэлектроники. – 2000. – № 7. – С. 30-43.
- Сотник С.Л.** Идентификация колебательного звена методом группового учета аргументов и искусственной нейронной сетью с генетическим алгоритмом обучения. – URL. – http://www.alicetele.com/~sergei/index_e.htm.
- Сочава В.Б.** Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.
- Справочник по типовым программам моделирования / Под ред. А.Г. Ивахненко – Киев: Техника, 1980. – 184 с.
- Стабильность развития: еще раз о мнимой и реальной простоте методики / Коллектив авторов практического руководства для заповедников "Здоровье среды: методика оценки" // Заповедники и Национальные парки. – 2002. – № 37-38. – С. 40-44.
- Станчинский В.В.** О значении массы видового вещества в динамическом равновесии биоценозов // Экология и биоценология. – 1931. – Т. 1. – № 1. – С. 88-98. (см., также: Природа. – 1991. – № 12. – С. 97-99; Антология экологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. – С. 225-230).
- Старостин Б.А.** Системный подход, параметры и сложность биологических объектов // Системные исследования. Ежегодник 1974. – М.: Наука, 1974. – С. 120-145.
- Стебаев И.В., Пивоваров Ж.Ф., Смоляков Б.С., Неделькина С.В.** Общая биогеосистемная экология. – Новосибирск: Наука, 1993. – 288 с.
- Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.** Сплайны в вычислительной математике. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
- Стивенс С.** Математика, измерение и психофизика // Экспериментальная психология. – М.: Иностранная литература, 1960. – Т. 1. – С. 5-78.
- Страшкраба М., Гнаука А.** Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. – М.: Мир, 1989. – 376 с. (Straškraba M., Gnauck A.H. Freshwater Ecosystems: Modeling and Simulation. – Amsterdam et al.: Elsevier, 1985. – 305 p.).

- Стриганова Б.Р.** Системный анализ биоценологических связей в почвенных сообществах // Чтения памяти академика М.С. Гилярова. 1-е чтения – 1 октября 2002 г., г. Йошкар-Ола. – М.: Т-во науч. изд. КМК. – 2006. – С. 16-38.
- Строгонов А.А.** Картографо-статистическое моделирование в биоокеанологии. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. – 212 с.
- Строфы века. Антология русской поэзии / Сост. Е.А. Евтушенко. – Москва; Минск: Полифакт, 1994. – 1056 с. (Итоги века. Взгляд из России).
- Стругацкий А.Н., Стругацкий Б.Н.** Понедельник начинается в субботу; Сказка о Тройке: Фантаст. повести. – М.: Книжный сад; СПб.: ИНТЕРОКО, 1993. – 446 с. – (Сер. St. Petersburg).
- Сукачев В.Н.** Идея развития в фитоценологии // Сов. ботан. – 1942. – № 1-2. – С. 7-17.
- Сукачев В.Н.** О некоторых текущих вопросах теоретической фитоценологии (Доклад в изложении А.В. Калининой) // Сов. ботаника. – 1945. – № 2. – С. 68-71.
- Сукачев В.Н.** Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии // Вопросы ботаники. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т. 1. – С. 291-309.
- Суппес П., Зинес Дж.** Основы теории измерений // Психологические измерения. – М.: Мир, 1967. – С. 9-110.
- Суслов В.И., Ибрагимов Н.М., Тальшева Л.П., Цыплаков А.А.** Эконометрия: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 744 с.
- Суханов В.В., Петропавловский Б.С.** Использование модели Гомпертца для аппроксимации хода роста (на примере ельников Приморского края) // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. – 1988. – Вып. 3. – С. 28-34.
- Сушеня Л.М., Алимов А.Ф.** Об организации "Нарочанских гидробиологических встреч" // Гидробиол. журн. – 1990. – Т. 26, № 5. – С. 108-109.
- Сушеня Л.М., Остапеня А.П.** Георгий Георгиевич Винберг (К 100-летию со дня рождения) // Изв. Нац. АН Беларуси. Сер. биол. наук. – 2005. – № 4. – С. 119-121.
- Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / Под ред. В.В. Налимова. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
- Тарасевич Ю.Ю.** Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
- Тарко А.М.** Глобальная роль системы «атмосфера – растения – почва» в компенсации воздействий на биосферу // Докл. АН СССР (ДАН). – 1977. – Т. 237, № 1. – С. 234-237.
- Тарко А.М.** Модель глобального цикла углерода // Природа. – 1994. – № 7. – С. 27-32.
- Тарко А.М.** Устойчивость биосферных процессов и принцип Ле-Шателье // Докл. Академии наук (ДАН). – 1995. – Т. 343, № 3. – С. 393-395.
- Тарко А.М.** Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. – М.: Физматлит, 2005. – 231 с.
- Тарко А.М., Кузнецова М.В.** Пространственно распределенная модель глобального цикла углерода в биосфере // Матем. моделирование. – 2001. – Т. 13, № 9. – С. 45-54.
- Тарский А.** Введение в логику и методологию дедуктивных наук. – М.: Ин. лит-ра, 1948. – 328 с.
- Тарский А.** Истина и доказательство // Вопр. философии. – 1972. – № 8. – С. 136-145.
- Татаринов Л.П.** Очерки по теории эволюции. – М.: Наука, 1987. – 251 с. (Сер. Академические чтения).
- Татарников Д.В.** О методических аспектах постановки экологических экспериментов (Реплика на статью М.В. Козлова) // Журн. общ. биол. – 2005. – Т. 66, № 1. – С. 90-93.

- Тахтаджян А.Л.** Дарвин и современная теория эволюции // Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора / 2-е изд. – СПб.: Наука, **2001**. – С. 517-550.
- Тейл Г.** Экономические прогнозы и принятие решений. – М.: Статистика, **1971**. – 488 с.
- Теоретическая виртуалистика. Новые проблемы, подходы и решения / Отв. ред. Е.А. Мамчур. – М.: Наука, **2008**. – 314 с.
- Теоретические вопросы фитоиндикации / Отв. ред. А.А. Корчагин. – Л.: Наука, **1971**. – 216 с.
- Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. К 90-летию со дня рождения академика В.Н. Сукачева / Тр. Моск. об-ва испыт. природы. Т. 38 / Отв. ред. Т.А. Работнов. – М.: Наука, **1970**. – 262 с.
- Терентьев П.В.** Метод корреляционных плеяд // Вестн. ЛГУ. – **1959**. – Т. 9, вып. 2. – С. 137-144.
- Терентьев П.В.** К истории биометрии // Методы современной биометрии. – М.: МГУ, **1978**. – С. 5-22.
- Терентьев П.В.** Биометрия. Ретроспективный указатель отечественной литературы за 1870-1970 гг. – М.: БЕН АН СССР, **1980**. – 126 с.
- Терехин А.Т.** Модели конкуренции: динамика численности и эволюция фенотипа (пособие по компьютерному практикуму) [Электронный ресурс]. – М.: МГУ, **2002**. – <http://www.library.biophys.msu.ru/Terekhin/>.
- Терехин А.Т.** Модели конкуренции: динамика численности и эволюция фенотипа (пособие по компьютерному практикуму) // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI: Учебное пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, **2006**. – С. 251-273.
- Терехина А.Ю.** Анализ данных методами многомерного шкалирования. – М.: Наука, **1986**. – 168 с.
- Терехов С.А.** Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. – Снежинск: ВНИИТФ, **1998**. – http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_index.htm.
- Тимирязев К.А.** Избранные сочинения в 2-х томах. Т. 1. Солнце, жизнь и хлорофилл. – М.: Сельхозгиз, **1957**. – 721 с.
- Тимонин А.К.** О статье А.М. Гилярова "Соотношение органицизма и редукционизма как основных методологических подходов в экологии" // Журн. общ. биол. – **1989**. – Т. 50, № 2. – С. 423-426.
- Тимофеев-Ресовский Н.В., Тюрюканов А.Н.** Об элементарных биохорологических подразделениях биосферы // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – **1966**. – Т. 71, вып. 1. – С. 123-132.
- Тимохина А.Ф.** Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2000**. – 193 с.
- Тихонов А.Н.** О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации // Докл. АН СССР (ДАН). – **1963**. – Т. 151, № 3. – С. 501-504.
- Тихонов А.Н.** О методах регуляризации задач оптимального управления // Докл. АН СССР (ДАН). – **1965**. – Т. 162, № 4. – С. 763-765.
- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.** Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, **1979**. – 285 с.
- Тооминг Х.Г.** Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, **1977**. – 200 с.
- Тооминг Х.Г.** Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, **1984**. – 264 с.

- Толмачев А.И.** Введение в географию растений. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, **1974**. – 274 с.
- Толстова Ю.Н.** О сравнении некоторых подходов к проблеме адекватности в теории измерений // Экспертные методы в системных исследованиях. Сборник трудов ВНИИ системных исследований. Вып. 4. – М.: ВНИИСИ, **1979**. – С. 78-83.
- Толстова Ю.Н.** Измерение в социологии. – М.: Инфра-М, **1998**. – 222 с.
- Трапезников В.К.** Физиологические основы локального применения удобрений. – М.: Наука, **1983**. – 176 с.
- Трапезников В. К., Иванов И. И., Тальвинская Н. Г.** Локальное питание растений. – Уфа: Гилем, **1999**. – 259 с.
- Трасс Х.Х.** Геоботаника. История и современные тенденции развития. – Л.: Наука, **1976**. – 252 с.
- Тропп Э.А., Егоров В.А., Морозов Ю.Г.** Математические методы для интеллектуальных баз данных в биологии. 1. Математические модели в биологии. Общий анализ // Рус. орнитол. журн. – **2002а**. – Экспресс-вып. 177. С. 163-171.
- Тропп Э.А., Егоров В.А., Морозов Ю.Г.** Математические методы для интеллектуальных баз данных в биологии. 2. Уровни организации живого, математические языки их описания и корректность постановки задач математического моделирования // Рус. орнитол. журн. – **2002б**. – Экспресс-вып. 190. С. 631-642.
- Тропп Э.А., Егоров В.А., Морозов Ю.Г.** Математические методы для интеллектуальных баз данных в биологии. 3. Математические модели экологических систем // Рус. орнитол. журн. – **2002в**. – Экспресс-вып. 193. С. 723-735.
- Туганаев В.В.** Книга, ценная для экологов и... букинистов [Рецензия] // Биология в школе. – **2005**. – № 3. – С. 61.
- Турчин П.В.** Есть ли общие законы в популяционной экологии? // Журн. общ. биол. – **2001**. – Т. 62. – С. 3-14. (Turchin P. Does population ecology have general laws? // Oikos. – **2001**. – V. 94. – P. 17-26).
- Тутубалин В.Н., Барабашева Ю.М., Григорян А.А. и др.** Математическое моделирование в экологии (Историко-методологический анализ) – М.: Языки русской культуры, **1999**. – 208 с.
- Тутубалин В.Н., Барабашева Ю.М., Девяткова Г.Н., Угер Е.Г.** Оценка возможностей корреляционного и регрессионного анализа при установлении конкуренции между видами // Журн. общ. биол. – **1998**. – Т. 59, № 4. – С. 433-444.
- Тэнсли А.** Использование и злоупотребление растительными концепциями и принципами // Антология экологии / Состав. и коммент. Г.С. Розенберга. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **2004**. – С. 123-154.
- Тютюнов Ю.В.** Построение, исследование и приложения математических моделей пространственно-временной динамики популяционных систем: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Красноярск, **2010**. – 50 с.
- Тютюнов Ю.В., Домбровский Ю.А., Обущенко Н.И.** Оптимальное управление эксплуатируемой популяцией при минимизации риска ее вымирания в условиях стохастичности среды обитания // Обзор. прикл. и промышл. математ. – **1996**. – Т. 3, вып. 3. – С. 412-433.
- Тютюнов Ю.В., Загребнева А.Д., Сурков Ф.А., Азовский А.И.** Микромасштабная пятнистость распределения веслоногих рачков как результат трофически обусловленных миграций // Биофизика. – **2009**. – Т. 54, вып. 3. – С. 508-514.

- Тютюнов Ю.В., Сапухина Н.Ю., Моргулис А.Б., Говорухин В.Н.** Математическая модель активных миграций как стратегии питания в трофических сообществах // Журн. общ. биол. – **2001**. – Т. 62, № 3. – С. 253-262.
- Тютюнов Ю.В., Сапухина Н.Ю., Сенина И.Н., Ардити Р.** Явная модель поискового поведения хищника // Журн. общ. биол. – **2002**. – Т. 63, № 2. – С. 137-148.
- Тютюнов Ю.В., Сапухина Н.Ю., Сенина И.Н., Ардити Р.** Таксис как фактор, стабилизирующий трофическую систему // Обзор. прикл. и промышл. математ. – **2005**. – Т. 12, вып. 4. – С. 810-814.
- Тютюнов Ю.В., Сенина И.Н.** Трофическая функция как результат активного пространственного поведения хищника // Проблемы проектирования и управления экономическими системами: инвестиционный аспект. – Ростов-на-Дону: РГЭА, **1998**. – С. 132-135.
- Тютюнов Ю.В., Титова Л.И., Сурков Ф.А., Бакаева Е.Н.** Трофическая функция колораторок-фитофагов (Rotatoria). Эксперимент и моделирование // Журн. общ. биол. – **2010**. – Т. 71, № 1. – С. 52-62.
- У фитопланктона соотношение размера и численности то же, что и у млекопитающих. – **2006**. – <http://elementy.ru/news?discuss=430374>.
- Уатт К.** Экология и управление природными ресурсами. – М.: Мир, **1971**. – 463 с.
- Удольская Н.Л.** Введение в биометрию. – Алма-Ата: Наука, **1976**. – 85 с.
- Уёмов А.И.** Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, **1978**. – 272 с.
- Уиттекер Р.** Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, **1980**. – 328 с.
- Уитфилд Д.** Большая и горячая // Компьютера. – **2005**. – № 8 (03 марта). – <http://offline.computerra.ru/2005/580/37789/>. – (Whitfield J. Ecology's big, hot idea // PLoS Biol. – **2004**. – V. 2, № 12).
- Уманская М.В.** Структура бактериопланктона малых бессточных озер национального парка «Самарская Лука» // Материалы Всероссийской конф. "Фундаментальные и прикладные аспекты функционирования водных экосистем". – Саратов: Изд-во Саратов. гос. ун-та, **2001**. – С. 160-164.
- Умнов А.А.** Математическая модель озера Мястро // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. – Минск: Белорус. госуниверситет, **1973**. – С. 95-109.
- Умнов А.А.** Математическое моделирование биотических потоков вещества и энергии в водных экосистемах. – СПб.: Наука, **1997**. – 134 с.
- Умнов А.А., Остапеня А.П.** Математическая модель миграции радионуклидов цезия 137 в экосистеме озера // Докл. Академии наук (ДАН). – **1998**. – Т. 358, № 2. – С. 283-286.
- Уоддингтон К.Х.** Основные биологические концепции // На пути к теоретической биологии. I. Пролегомены. – М.: Мир, **1970а**. – С. 11-38.
- Уоддингтон К.Х.** Замечания // На пути к теоретической биологии. I. Пролегомены. – М.: Мир, **1970б**. – С. 176-177.
- Уоссермен Ф.** Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, **1992**. – 184 с.
- Уранов А.А.** Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. – **1975**. – № 2. – С. 7-34.
- Уранова Т.А.** К вопросу о влиянии космических явлений на прирост древесины // Ботан. журн. – **1979**. – Т. 64, № 11. – С. 1632-1641.
- Урбах В.Ю.** Математическая статистика для биологов и медиков. – М.: АН СССР, **1963**. – 323 с.

- Урбах В.Ю.** Биометрические методы: (Статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине). – М.: Наука, **1964**. – 415 с.
- Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. – М.: Медицина, **1975**. – 296 с.
- Урманцев Ю.А.** Симметрия природы и природа симметрии. – М.: Мысль, **1974**. – 229 с. (Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии: Философские и естественно-научные аспекты / 2-е изд. – М.: КомКнига, **2006**. – 232 с.).
- Урманцев Ю.А.** Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития // Система, симметрия, гармония. – М.: Мысль, **1988**. – С. 38-124.
- Урманцев Ю.А.** Симметрия и асимметрия развития // Сознание и физическая реальность. – **1997**. – Т. 2, № 2. – С. 80-83. – <http://www.sci.aha.ru/ots/index.htm>.
- Урманцев Ю.А.** Эволюционика или общая теория развития систем природы, общества и мышления / 2-е изд. – М.: Изд-во: КД Либроком, **2009**. – 238 с.
- Усманов И.Ю.** К методике планирования числа наблюдений при определении морфологических структур растений // Сельхоз. биол. – **1984**. – № 1. – С. 113-116.
- Усманов И.Ю., Мартынова А.В., Усманова Н.Н., Янтурин С.И.** Адаптивные стратегии растений на солончаках Южного Урала. Распределение ресурсов в ценопопуляциях // Экология. – **1991**. – № 1. – С. 9-16.
- Усманов И.Ю., Мартынова А.В., Янтурин С.И.** Адаптивные стратегии растений на солончаках Южного Урала. Реакция на абиотический стресс // Экология. – **1989**. – № 4. – С. 20-27.
- Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю.** Экологическая физиология растений. – М.: Логос, **2001**. – 224 с.
- Усольцев В.А.** Русский космизм и современность. 3-е изд. – Екатеринбург: УГЛТУ, **2010**. – 570 с.
- Устименко А.А.** Компаративно-кластерный подход в исследованиях явления синергизма биологических динамических систем: Автореф. ... канд. физ.-мат. наук. – Сургут, **2010**. – 22 с. – <http://www.surgu.ru/upload/4849-1.pdf>.
- Федер Е.** Фракталы. – М.: Мир, **1991**. – 254 с. (Feder J. Fractals. – N.Y.: Plenum Pub. Corp., **1988**. – 283 p.).
- Федулов И.Н.** Теоретическое знание: проблема минимизации (философско-методологический аспект): Дисс. ... канд. философ. наук. – Волгоград, **2003**. – 115 с.
- Фейгенбаум М.** Универсальность в поведении нелинейных систем // Успехи физ. наук. – **1983**. – Т. 141, вып. 2. – С. 343-374.
- Фейеш Тот Л.** Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве. – М.: Физматгиз, **1958**. – 364 с.
- Феллер В.** Введение в теорию вероятностей и её приложения / 2-е изд. В 2-х т. – М.: Мир. – Т. 1. – **1964**. – 498 с.; Т. 2. – **1967**. – 752 с.
- Фенёва И.Ю., Будаев С.В., Дгебуадзе Ю.Ю.** Имитационное моделирование стратегий выживания ветвистоусых ракообразных в условиях дефицита пищи // Экология. – **2006** – № 1. – С. 32-38.
- Фёдоров В.Д.** Концепция устойчивости экологических систем // Всесторонний анализ окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, **1975**. – С. 207-217.
- Фёдоров В.Д.** Заметки о парадигме вообще и экологической парадигме в частности // Вестн. МГУ. Сер. 16. Биология. – **1977**. – № 3. – С. 8-22.
- Фёдоров В.Д.** Относительное обилие симпатрических видов и модель экспоненциально разломанного стержня (ЭРС) // Человек и биосфера. Вып. 2. Устойчивость экологических систем / Под ред. В.Д. Фёдорова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1978**. – С. 17-41.

- Фёдоров В.Д.** К стратегии экологического прогноза // Человек и биосфера. Вып. 8. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1983**. – С. 4-30.
- Фёдоров В.Д., Бродский Л.И., Голикова Т.И. и др.** Эколого-математическое моделирование биологической продуктивности внутренних морей СССР // Биологи МГУ – рыбному хозяйству. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1984**. – С. 106-111.
- Фёдоров В.Д., Гильманов Т.Г.** Экология. – М.: Моск. ун-та, **1980**. – 464 с.
- Фёдоров В.Д., Левич А.П.** Откуда берутся индексы разнообразия? // Человек и биосфера. Вып. 4. – М.: Изд-во Моск. ун-та, **1980**. – С. 164-184.
- Фёдоров Е.С.** Симметрия и структура кристаллов. Основные работы. – М.: Изд-во АН СССР, **1949**. – 631 с. (Сер. Классики науки).
- Филатов М.А.** Моделирование в фазовом пространстве состояний психофизиологических функций учащихся Югры: Автореф. ... докт. биол. наук. – Сургут, **2010**. – 43 с.
- Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки / Отв. ред. И.С. Трифонова. – СПб.: Наука, **2003**. – 232 с.
- Фишер Р.А.** Статистические методы для исследователей. – М.: Госстатиздат, **1958**. – 268 с.
- Флейшман Б.С.** О живучести сложных систем // Изв. АН СССР, сер. техн. киберн. – **1966**. – № 5. – С. 14-23.
- Флейшман Б.С.** Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. – М.: Сов. радио, **1971**. – 224 с.
- Флейшман Б.С.** Стохастические модели сообществ // Океанология. Биология океана. Биологическая продуктивность океана. – М.: Наука, **1977**. – Т. 2. – С. 276-288.
- Флейшман Б.С.** Системные методы в экологии // Статистические методы анализа почв, растительности и их связи. – Уфа: ИБ БФАН СССР, **1978**. – С. 7-28.
- Флейшман Б.С.** Основы системологии. – М.: Радио и связь, **1982**. – 368 с.
- Флейшман Б.С.** Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера. – М.: Наука, **1986**. – С. 97-110.
- Флейшман Б.С., Агаджанян Ш.М.** О некоторых аналитических методах в теории случайных графов // Сб. науч. тр. аспирантов Армян. педагог. ин-та. Естественные науки. – **1975**. – № 7, вып. 4. – С. 251-262.
- Флейшман Б.С., Брусиловский П.М., Розенберг Г.С.** О методах математического моделирования сложных систем // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1982. – М.: Наука, **1982**. – С. 65-79.
- Флейшман Б.С., Букатова И.Л.** О некоторых аналитических оценках параметров эволюционного моделирования // Автоматика и вычисл. техника. – **1974**. – № 4. – С. 34-39.
- Флейшман Б.С., Вершинский А.Н., Гульдин А.Н.** Структурно-информационная теория стаеобразования // Тез. докл. XXXIII Всесоюз. юбилейной сессии НТОРЭиС им. А.С. Попова. – М.: НТОРЭиС, 1978. – С. 60.
- Флейшман Б.С., Гульдин А.Н., Сильянова С.А., Кибзун А.П.** Оптимизационные модели в экологии и мониторинге // XXXIV Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. – М.: НТОРЭиС, **1979**. – С. 92-94.
- Флейшман Б.С., Флейшман С.Б.** Некоторые оценки эффективности мониторинга // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, **1978**. – Т. 1. – С. 57-63.
- Фляксбергер К.А.** Начало биометрических работ у нас и А.Я. Гордягин // Ученые зап. Казанского гос. ун-та им. В.И. Ульянова-Ленина. – **1933**. – Т. 93, кн. 6, вып. 1. – С. 43-45.

- Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.** Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. – М.: Мир, 1969. – 230 с.
- Фок В.А.** Начала квантовой механики / 3-е изд. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
- Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
- Форрестер Д.** Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1974. – 288 с.
- Форрестер Дж.** Антиинтуитивное поведение сложных систем // Современные проблемы кибернетики. Вып. 7. – М.: Знание, 1977. – С. 9-25.
- Форрестер Дж.** Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 168 с.
- Фрей Т.Э.-А.** Обработка геоботанических описаний методом анализа скоплений с применением критерия *K* и фенограммы // Методы выделения растительных ассоциаций. – Л.: Наука, 1971. – С. 225-250.
- Фрейдлин М.И., Светлосанов В.А.** О влиянии малых случайных возмущений на устойчивость состояний экологических систем // Журн. общ. биол. – 1976. – Т. 37, № 5. – С. 715-721.
- Фрисман Е.Я.** Изменение характера динамики численности популяции: механизмы перехода к хаосу // Вестн. ДВО РАН. – 1995. – № 4. – С. 92-103.
- Фрисман Е.Я., Ласт Е.В.** Динамическая неустойчивость промысловых популяций с возрастной структурой (на примере лососевых видов рыб // Докл. Академии наук (ДАН). – 2004. – Т. 394, № 4. – С. 569-573.
- Фрисман Е.Я., Ласт Е.В.** Нелинейные эффекты в популяционной динамике, связанные с возрастной структурой и влиянием промысла // Изв. РАН, сер. биол. – 2005. – № 5. – С. 517-530.
- Фрисман Е.Я., Ласт Е.В., Лазуткин А.Н.** Механизмы и особенности сезонной и долговременной динамики популяций полевок *Clethrionomys rufocanus* и *Cl. rutilus*: количественный анализ и математическое моделирование // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. – 2010. – № 2. – С. 43-47.
- Фрисман Е.Я., Скалецкая Е.И.** Странные аттракторы в простейших моделях динамики численности биологических популяций // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 1994. – Т. 1, вып. 6. – С. 988-1008.
- Фрисман Е.Я., Скалецкая Е.И., Кузин А.Е.** Математическое моделирование динамики численности северного морского котика. Простейшая модель локальной популяции // Журн. общ. биол. – 1980. – Т. 41, № 2. – С. 270-277.
- Фрисман Е.Я., Тузинкевич А.В., Громова Н.П.** «Пятнистость» пространственных структур популяции и происхождение видов как следствие динамической неустойчивости // Вестн. ДВО РАН. – 1996. – № 4. – С. 120-129.
- Фролов Ю.П., Розенберг Г.С.** Управление биологическими системами. Надорганизменный уровень. – Самара: Изд-во "Самарский университет", 2002. – 192 с.
- Фурашев В.Н., Ландэ Д.В., Брайчевский С.М.** Моделирование информационно-электоральных процессов. – Киев: НИЦПИ АПН Украины, 2007. – 182 с.
- Фурсова П.В., Левич А.П.** Математическое моделирование в экологии сообществ. Обзор литературы // Проблемы окружающей среды (обзорная информация). – М.: ВИНТИ, 2002. – № 9. – http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/fursova_matematicheskoe/fursova_matematicheskoe.htm.
- Хайлов К.М.** Системы и систематизация в биологии // Проблемы методологии системного исследования. – М.: Мысль, 1970. – С. 127-145.
- Хакен Г.** Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 424 с.

- Ханин М.А., Дорфман Н.Л.** Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – 154 с.
- Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Комаров А.С. и др.** Моделирование динамики разнообразия лесного напочвенного покрова // Лесоведение. – 2006. – № 1. – С. 70-80.
- Хантемиров Р.М.** Динамика древесной растительности и изменение климата на севере Западной Сибири в голоцене: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Екатеринбург, 2009. – 42 с.
- Хармс Д.** Полет в небеса: Стихи. Проза. Драма. Письма. – Л.: Сов. писатель, 1988. – 560 с.
- Хармс Д.** О существовании, о времени, о пространстве // Хармс Д. Повесть. Рассказы. Молитвы. Поэмы. Сцены. Водевиль. Драмы. Статьи. Трактаты. Квазитрактаты / Сост. Р. Грищенко. – СПб.: Кристалл, 2000. – 512 с.
- Хармс Д.** – 2005. – http://www.elib.org.ua/philosophy/ua_show_archives.php?subaction=showfull&id=1108499777&archive=0211&start_from=&ucat=1&
- Хармс Д.** Дневниковые записи. – URL. – http://lib.ru/HARMS/xarms_diaries.txt.
- Харпер Дж.** Некоторые подходы к изучению конкуренции у растений // Механизмы биологической конкуренции. – М.: Мир, 1964. – С. 11-54.
- Хворова Л.А.** Методологические аспекты структурно-параметрической идентификации динамических моделей агроэкосистемы // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) "Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы". 14–15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. – СПб.: АФИ, 2010. – С. 109-113.
- Хеджпет Д.В.** Модели в экологии и путаница вокруг них (некоторые философские соображения). // Биология моря. – 1978. – № 6. – С. 3–15.
- Херст Г.** Нил. Общее описание реки и использования ее вод. – М.: Изд-во ин. лит., 1954. – 328 с.
- Хлебопрос Р.Г.** Послесловие // Горбань А.Н., Охонин В.А., Садовский М.Г., Хлебопрос Р.Г. Простейшее уравнение математической экологии. Препринт ИЛиД СО АН СССР. – Красноярск, 1982. – С. 34-35.
- Холодный Н.Г.** Мысли натуралиста о природе и человеке // Избранные труды – Киев: Наукова думка, 1982. – С. 139-206.
- Хомяков Д.М., Искандарян Р.А.** Информационные технологии и математическое моделирование в задачах природопользования. – URL. – <http://fadr.msu.ru/rin/ecol/model.htm>.
- Хорн Р., Джонсон Ч.** Матричный анализ. – М. Мир, 1989. – 656 с.
- Храбров Ю.Б.** К вопросу о составлении прогнозов погоды комплексным методом // Тр. центр. ин-та погоды. – 1960. – Вып. 89. – С. 122-126.
- Храбров Ю.Б.** Прогноз погоды. – М.: Знание, 1974. – 62 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. наука о земле; вып. 9).
- Христофорова Н.К.** Основы экологии: Учебник для биол. и экол. факультетов университетов. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 516 с.
- Царегородцев В.Г., Погребная Н.А.** Нейросетевые методы обработки информации в задачах прогноза климатических характеристик и лесорастительных свойств ландшафтных зон // Методы нейроинформатики (сборник научных трудов). – Красноярск: КрГТУ, 1998. – С. 65-110.
- Цейтлин Н.А.** Из опыта аналитического статистика. – М.: Аскери Информэйшн, 2007. – 912 с.

- Цесарский А.** Жереховый бой. Секретное оружие беззубого хищника // Рыбак рыбака. – 2004. – № 5. – http://www.rybak-rybaka.ru/articles/a5_050404.shtml.
- Цетлин М.Л.** Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.
- Цобель М.Р., Цобель К.Р.** Изучение временно-пространственной структуры фитоценозов – некоторые соображения // Перспективы теории фитоценологии: Тез. симпоз. Лазлуту – Пухту, 16-20 мая 1988. – Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1988. – С. 24-29.
- Цыпкин Я.З.** Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 399 с.
- Цыпкин Я.З.** Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 520 с.
- Цыпкин Я.З.** Информационная теория идентификации. – М.: Наука, 1995. – 336 с.
- Чайковский Ю.В.** О познавательных моделях // Исследования по математической биологии. Сборник научных трудов, посвященный памяти А.Д. Базыкина / Науч. ред. Э.Э. Шноль. – Пушкино: Пушкин. НЦ РАН, 1996. – С. 170-185.
- Чайковский Ю.В.** Ламарк, Дарвин и устройство науки. К недавнему юбилею "Философии зоологии" и "Происхождения видов" // Вестн. РАН. – 2010. – Т. 80, № 8. – С. 716-725.
- Чебанов С.В.** Единство теоретизирования о способах упорядочивания // Теория и методология биологических классификаций. – М.: Наука, 1983. – С. 18-28.
- Чебураева А.Н.** Погодичная динамика ценопопуляций овсеца Шелля в северных луговых степях // Ценопопуляции растений: Развитие и взаимоотношения. – М.: Наука, 1977. – С. 50-57.
- Черкашин А.К.** Математические задачи учения о геосистемах и возможные пути их решения // Геогр. и природ. ресурсы. – 1985. – № 2. – С. 34-44.
- Черкашин А.К.** Полисистемный анализ и синтез. – Polysystem analysis and synthesis. Приложение в географии. – Новосибирск: Наука, 1997. – 502 с.
- Черкашин А.К.** Полисистемное моделирование. – Новосибирск: Наука, 2005. – 280 с.
- Чернов А.А.** Гомо аквактикус / 2-е изд. – М.: Молодая гвардия, 1970. – 301 с.
- Чернов Г.Н.** Законы теоретической биологии. – М.: Знание, 1990. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. биол.; вып. 1).
- Чернов Ю.И.** Биологическое разнообразие: сущность и проблемы // Успехи совр. биол. – 1991. – Т. 111, вып.4. – С. 499-507.
- Чернов Ю.И., Пенев Л.Д.** Биологическое разнообразие и климат // Успехи совр. биол. – 1993. – Т. 113, вып. 5. – С. 515-531.
- Чернова Н.М., Былова А.М.** Экология. – М.: Просвещение, 1988. – 272 с.
- Чертов О.Г.** Математическая модель экосистемы одного растения // Журн. общ. биол. – 1983. – Т. 44, № 3. – С. 406-414.
- Чертов О.Г.** Имитационная модель минерализации и гумификации лесного опада и подстилки // Журн. общ. биол. – 1985. – Т. 46, № 6. – С. 794-804.
- Чертов О.Г., Комаров А.С.** Имитационная модель динамики органического вещества почв // Вестн. СПб. ун-та. – 1996. – Сер. 3, вып. 1. – С. 104-109.
- Чертопруд М.В., Азовский А.И.** Размещение макробентоса беломорской литорали в различных масштабах пространства // Журн. общ. биол. – 2000. – Т. 61, № 1. – С. 47-63.
- Чесноков В.И., Колищук В.Г.** Об использовании методов дендрохронологии в астрофизике. – Л.: ФТИ, 1991. – 8 с.
- Чесноков В.С.** Сергей Андреевич Подолинский. – М.: Наука, 2001. – 166 с. (Серия: Научно-биографическая литература).

- Чесноков С.В.** Детерминационный анализ социально-экономических данных. – М.: Наука, 1982. – 259 с.
- Четаев Н.Г.** Устойчивость и классические законы // Сборник научных трудов Казанского авиационного института. – 1936. – № 6. – С. 3-5.
- Четвериков Н.С.** О ложной корреляции // Применение методов корреляции в экономических исследованиях. – М.: Наука, 1969. – С. 203-229. (Ученые записки по статистике. Т. 16).
- Чижевский А.Л., Шишина Ю.Г.** В ритме Солнца. – М.: Наука, 1969. – 112 с.
- Чумаченко С.И., Паленова М.М., Коротков В.Н.** Прогноз динамики таксационных показателей лесных насаждений при разных сценариях ведения лесного хозяйства: модель динамики лесных насаждений FORRUS-S. // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Научн. тр. Вып. 314 (ФЦП Интеграция). – М.: МГУЛ, 2001. – С. 128-146.
- Чупрунов Е.В., Солдатов Е.А., Тархова Т.Н.** О количественных оценках симметричности кристаллических структур // Кристаллография. – 1988а. – Т. 33, № 3. – С. 759-761.
- Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фадеев М.А.** Кристаллография. – М.: Высш. шк., 1988б. – 496 с.
- Шабанов Д.** О любви к простым объяснениям // Компьютера. – 2005. – № 8 (03 марта). – <http://offline.computerra.ru/2005/580/37790/>.
- Шайтура С.В.** Геоинформационные системы и методы их создания. – М.: 1998. – 252 с.
- Шамбадаль П.** Развитие и приложения понятия энтропии. М.: Наука, 1967. – 280 с. – <http://www.chronos.msu.ru/quotations/shambadal.html>.
- Шанин В.Н.** Имитационное моделирование динамики лесных экосистем при различных лесохозяйственных и климатических сценариях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Сыктывкар, 2011. – 18 с.
- Шанин В.Н., Михайлов А.В., Быховец С.С., Комаров А.С.** Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза // Изв. РАН. Сер. биол. – 2010. – № 6. – С. 719-730.
- Шапиро А.П.** К вопросу о циклах в возвратных последовательностях // Управление и информация. Вып. 3. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1972. – С. 96-118.
- Шапиро А.П., Луппов С.П.** Рекуррентные уравнения в теории популяционной биологии. – М.: Наука, 1983. – 132 с.
- Шафаревич И.Р.** Доклад на собрании Японского математического общества от 28 сентября 1993 г. – 1993. – <http://www.doktor.ru/doctor/biometr/naukoved/mathem.htm>.
- Шашкин А.В., Ваганов Е.А.** Имитационная модель климатической изменчивости хвойных (на примере роста сосны в степной зоне) // Экология. – 1993. – № 5. – С. 3-9.
- Шварц С.С.** Принципы и методы современной экологии животных. Докл. на философском семинаре по вопросам биологии. – Свердловск: УФАН СССР, 1960. – 51 с.
- Шварц С.С.** Внутривидовая изменчивость млекопитающих и методы ее изучения // Зоол. журн. – 1963. – Т. 42, вып. 3. – С. 417-433.
- Шварц С.С.** Стратегия жизни // Природа. – 1967. – № 8. – С. 37-49.
- Шварц С.С.** Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование // Вестн. АН СССР. – 1976. – № 2. – С. 61-72.
- Шварц С.С.** Экологические закономерности эволюции. – М.: Наука, 1980. – 278 с.

- Шварц С.С., Большаков В.Н., Пястолова О.А.** Новые данные о различных путях приспособления животных к изменению среды обитания // Зоол. журн. – 1964. – Т. 43, вып 4. – С. 483-487.
- Шварц С.С., Оленев В.Г., Жигальский О.А., Кряжимский Ф.В.** Изучение роли сезонных генераций мышевидных грызунов на имитационной модели // Экология. – 1977. – № 3. – С. 12-21.
- Шварц С.С., Оленев В.Г., Кряжимский Ф.В., Жигальский О.А.** Исследование динамики численности и возрастной структуры популяции мышевидных грызунов на имитационной модели // Докл. АН СССР (ДАН). – 1976. – Т. 228, № 6. – С. 1482-1484.
- Шенников А.П.** Теоретическая геоботаника за последние 20 лет // Сов. ботаника. – 1937. – № 5. – С. 58-94.
- Шенников А.П.** Введение в геоботанику. – Л.: ЛГУ, 1964. – 447 с.
- Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Иностран. лит., 1963. – 829 с.
- Шеннон Р.** Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
- Шеффе Г.** Дисперсионный анализ. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
- Шильников Л.П.** Теория бифуркаций и модель Лоренца // Марсден Дж., Мак-Кракен М. Бифуркация рождения цикла и её приложения. – М.: Мир, 1980. – С. 317-335.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д.** Создание базы данных и алгоритм обработки информации // Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (Биологическая индикация). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. – С. 145-152.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Абросимова Э.В.** Непараметрические методы сравнительной оценки видового разнообразия речных сообществ макрозообентоса // Журн. общ. биол. – 2010. – Т. 71, № 3. – С. 256-267.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.** Нейросетевые методы оценки качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям // Изв. СамНЦ РАН. – 2002. – Т. 4, № 2. – С. 280-289.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.** Структура базы данных и алгоритмы обработки информации // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. – М.: Наука, 2007. – С. 86-104.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С.** Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 256 с.
- Шитиков В.К., Коппа Ю.В., Курляндский Б.А., Тихонов В.Н.** Прогнозирование токсикологических показателей химических веществ методом самоорганизации моделей // Автоматика. – 1986. – № 4. – С. 85-87.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С.** Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 91-129.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.** Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.** Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. – М.: Наука, 2005. – Кн. 1. – 281 с.; Кн. 2. – 337 с.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Крамаренко С.С., Якимов В.Н.** Современные подходы к статистическому анализу экспериментальных данных // Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений). – Тольятти: СамНЦ РАН; «Кассандра», 2008а. – С. 212-250.

- Шитиков В.К., Цейтлин Н.А., Якимов В.Н.** Мифы и реальность мнимых повторностей С. Хёлберга // Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений). – Тольятти: СамНЦ РАН; «Кассандра», **2008**. – С. 89-112.
- Шишов В.В.** Визуализация и анализ дендроклиматической информации на основе интерактивной системы дендроклиматического мониторинга: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Братск, **2009**. – 45 с.
- Шишов В.В., Ивановский А.Б.** Сравнительный анализ скользящих коэффициентов при анализе временных рядов // Вестн. СибГАУ – **2006**. – Вып. 2(9). – С. 29-33.
- Шиятов С.Г.** К методике расчета индексов прироста деревьев // Экология. – **1970**. – № 3. – С. 85-87.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология, её принципы и методы // Записки Свердл. отд. ВБО. – **1973**. – Вып. 6. – С. 53-81.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология верхней границы леса на Урале. – М.: Наука, 1986. – 137 с.
- Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. и др.** Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. – Красноярск: КрасГУ, **2000**. – 80 с.
- Шкидченко А.Н.** Совместное действие лимитирующего и ингибирующего факторов на рост дрожжей в проточной культуре // Микробиология. – **1977**. – Т. 45, № 3. – С. 456-463.
- Шмидт В.М.** Статистические методы в сравнительной флористике. – Л.: ЛГУ, **1980**. – 176 с.
- Шредер М.** Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – М.; Ижевск: Ин-т компьютер. иссл., **2001**. – 528 с. (Schröder M. Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise. – N.Y.: Freeman, **1991**. – 512 p.).
- Шрейдер Ю.А.** Что такое расстояние? – М.: Физматгиз, **1963**. – 76 с. (Популярные лекции по математике. Вып. 38).
- Шрейдер Ю.А.** Об одной модели семантической теории информации // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, **1965**. – Вып. 13. – С. 234-240.
- Шрейдер Ю.А.** Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, **1971**. – 256 с.
- Шрёдингер Э.** Что такое жизнь с точки зрения физики? – М.: Изд-во иностр. лит-ры, **1947**. – 146 с. (2-е изд. – М.: Атомиздат, **1972**. – 88 с.).
- Шурганова Г.В.** Динамика видовой структуры зоопланктона речной части Чебоксарского водохранилища в условиях антропогенного пресса // Изв. СамНЦ РАН. – **2005**. – Т. 7, № 1. – С. 225-229.
- Шурганова Г.В., Черепенников В.В.** Формирование и развитие зоопланктонных сообществ водохранилищ Средней Волги // Изв. СамНЦ РАН. – **2006**. – Т. 8, № 1. – С. 241-247.
- Шустер Г.** Детерминированный хаос: введение. – М.: Мир, **1988**. – 250 с.
- Шустов М.В., Полянсков Ю.В., Биктимиров Т.З., Розенберг Г.С.** База данных "REGION-ULAYANOVSK" как объект рационального природопользования Ульяновской области // Экологические проблемы бассейнов крупных рек: Тез. междунар. конф. – Тольятти: ИЭВБ РАН, **1993**. – С. 277.
- Эдмондсон Т.** Практика экологии. Об озере Вашингтон и не только о нем. – М.: Мир, **1998**. – 299 с.
- Эйнштейн А.** Принципы научного исследования // Физика и реальность. – М.: Наука, **1965**. – С. 8-10.

- Эйнштейн А. О современном кризисе теоретической физики // Собрание научных трудов. – М.: Наука, 1967. – Т. 4. – С. 55-60.
- Экологическая система Нарочанских озер / Под ред. Г.Г. Винберга. – Минск: Изд-во "Университетское", 1985. – 302 с.
- Экологические и эволюционные аспекты поведения животных / Отв. ред. Б.П. Мантейфель. – М.: Наука, 1974. – 140 с.
- Энгельс Ф. Диалектика природы // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. – М.: Гос. изд. пол. лит. лит., 1961. – Т. 20. – С. 339-626.
- Энергия и эксергия / Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1968. – 192 с.
- Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 263 с.
- Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Изд-во ин. лит-ры, 1959. – 430 с.
- Эшби У.Р. Несколько замечаний // Общая теория систем. – М.: Мир, 1966. – С. 171-178.
- Юл Д.Э., Кендэл М.Д. Теория статистики. 14 изд. – М.: Госстатиздат, 1960. – 778 с.
- Юрачковский Ю.П. Метод группового учета аргументов: статистические предпосылки и теоретические аспекты применения // Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусилковский П.М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. – С. 161-170.
- Юрцев Б.А., Сумерина И.Ю. Памяти Веры Даниловны Александровой (30.VIII.1910-6.I.1989) // Ботан. журн. – 1990. – Т. 75, № 8. – С. 1198-1203.
- Якимов В.Н. Фрактальность видовой и пространственной структуры биологических сообществ: разработка концепции и верификация: разработка концепции и верификация: Дис. ... канд. биол. наук. – Нижний Новгород, 2007. – 125 с.
- Ямпольский М. Беспамятство как исток (Читая Хармса). – М.: Новое литературное обозрение, 1998. – 384 с. (Научное приложение. Вып. XI).
- Янтурин С.И. Опыт количественного анализа влияния удобрений и погодных условий на горизонтальную структуру луга // Статистические методы анализа почв, растительности и их связи. – Уфа: БФАН СССР, 1978. – С. 149-165.
- Янтурин С.И. Фитомелиорация солонцовых комплексов // Сельские узоры. – 1998. – № 4. – С. 17-19.
- Янтурин С.И. Оптимизация использования природного комплекса юго-востока Республики Башкортостан в целях устойчивого развития экорегиона: Дис. ... д-ра биол. наук. – Сибай, 2004. – 378 с. (Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Тольятти, 2004. – 32 с.).
- Яценко Н.Е. Толковый словарь обществоведческих терминов. – СПб.: Лань, 1999. – 528 с. (Сер. "Учебники для вузов").
- 50 лет заповедному делу в Республике Татарстан: Альбом. – Казань: Изд-во «Фолиант», 2009. – 96 с.
- 80 лет кафедре гидробиологии. – М.: Т-во науч. изд-ий КМК, 2004. – 262 с.
- Abrams P.A., Ginzburg L.R. The nature of predation: prey dependent, ratio dependent or neither? // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – 2000. – V. 15, № 8. – P. 337-341.
- Advances in Fisheries Science: 50 Years on from Beverton and Holt / Ed. by A. Payne, J. Cotter, T. Potter. – N.Y.: Wiley-Blackwell, 2008. – 568 p.
- Аксакаева Н.Р., Burgman M.A., Ginzburg L.R. Applied Population Ecology: principles and computer exercises using RAMAS EcoLab 2 / 2nd ed. – Sunderland (MA): Sinauer Ass. Inc., 1999. – 285 p.

- Allee W.C.** Animal Aggregations: A Study in General Sociology. – Chicago: Univ. Press, **1931**. – 431 p.
- Allee W.C.** A review of Chapman's "Animal Ecology" // Ecology. – **1932**. – V. 13. – P. 405-407.
- Allee W.C.** The Social Life of Animals. – N.Y.: W.W. Norton, **1938**. – 293 p.
- Allen T.F.H., Starr T.B.** Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity. – Chicago: Univ. of Chicago Press, **1982**. – 310 p.
- Altman D.G.** Statistics and ethics in medical research. Misuse of statistics is unethical. // British Med. J. – **1980**. – V. 281. – P. 1182-1184.
- Altman D.G.** Statistics in medical Journals: some recent trends. // Statistics in Medicine. – **2000**. – V. 19. – P. 3275-3289.
- Altshuller G.S.** Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problem Solving. – N.Y.: Gordon & Breach Sci. Publ., **1988**. – 319 p.
- Altshuller G.** The Innovation Algorithm. TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. – Worcester (MA): Technical Innovation CTR, Inc, **1999**. – 312 p.
- An Application Science for Multi-Agent Systems (Multiagent Systems, Artificial Societies and Simulated Organizations) / Ed. by T.A. Wagner. – N.Y.: Springer, **2004**. – 285 p.
- Anway J.C., Brittain E.G., Hunt H.W. et al.** ELM: Version 1.0. US/IBP Grassland Biome Tech. Rept. № 156. – Fort Collins: Colorado State Univ., **1972**. – 285 p.
- Arditi R., Ginzburg L.R.** Coupling in predator-prey dynamics: ratio-dependence // J. Theor. Biol. – **1989**. – V. 139, № 3. – P. 311-326.
- Arditi R., Tyutyunov Yu., Morgulis A. et al.** Directed movement of predators and the emergence of density-dependence in predator-prey models // Theor. Popul. Biol. – **2001**. – V. 59, № 3. – P. 207-221.
- Arrhenius O.** Species and area // J. Ecol. – **1921**. – V. 9. – P. 95-99.
- Arrhenius O.** Statistical investigations in the constitution of plant associations // Ecology. – **1923**. – V. 4. – P. 68-73.
- Ashikhmina E.V., Frisman E.Y., Skaletskaya E.I.** Mathematical model for dynamics of the number of pelt products from the local population of Manchurian squirrels // Ecol. Modelling. – **1985**. – V. 30. – P. 145-156.
- Azovsky A.I.** Concept of scale in marine ecology: linking the words or the worlds? // Web Ecol. – **2000**. – № 1. – P. 28-34. – <http://www.oikos.ekol.lu.se/we/we.html>.
- Azovsky A.I., Chertoprod M.V., Kucheruk N.V. et al.** Fractal properties of spatial distribution of intertidal benthic communities // Marine Biol. – **2000**. – V. 136, № 3. – P. 581-590.
- Bak P., Chen K.** Self-organized criticality // Scientific American. – **1991**. – V. 264. – P. 46-53.
- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.** Self-organized criticality // Phys. Rev. – **1988**. – V. A-38. – P. 364-374.
- Banks J.E.** Book review – Population Ecology: First Principles // Environmental Entomology. – **2006**. – V. 35, № 3. – P. 811.
- Banks H.T., Banks J.E., Dick L.K., Stark J.D.** Estimation of Dynamic Rate Parameters in Insect Populations Undergoing Sublethal Exposure to Pesticides. – Raleigh (North Carolina): N.C. St. Univ. Press, **2006**. – 49 p.
- Bardossy A.** Notes on the robustness of kriging systems // Math. Geology. – **1988**. – V. 20, № 3. – P. 189-203.
- Barnsley M.F.** SuperFractals: Patterns of Nature. – N.Y.: Cambridge Univ. Press, **2006**. – 464 p.
- Barrow J.** The Constants of Nature: From Alpha to Omega – the Numbers That Encode the Deepest Secrets of the Universe. – London: Jonathan Cape, **2002**. – 368 p.

- Barrow J.D., Webb J.K.** Inconstant Constants. Do the inner workings of nature change with time? // *Scientific American*. – 2005. – V. 292, № 6. – P. 32-39.
- Bartsev S.I., Degermendzhi A.G., Erokhin D.V.** Principle of the worst scenario in the modeling past and future of biosphere dynamics // *Ecol. Modelling*. – 2008. – V. 216, № 2. – P. 160-171.
- Bassingthwaight J.B.** Physiological heterogeneity: Fractals link determinism and randomness in structure and function // *News in Physiol. Sci.* – 1988. – V. 3. – P. 5-10.
- Bayes T.** Studies in the history of probability and statistics. IX. Thomas Bayes's essay towards solving a problem in the doctrine of chances (Reproduced from *Philos. Trans. London*, 1763, 53), with a biographical note G.A. Barnard // *Biometrika*. – 1958. – V. 45, № 3-4. – P. 296-315.
- Bazilevich N.I., Tishkov A.A.** A conceptual-balance model of chemical element cycles in a mesotrophic bog ecosystem // *Ecosystem Dynamics in Freshwater Wetlands and Shallow Water Bodies* / Ed. by D.O. Logofet, N.K. Luckyanov. – M.: UNEP/ SCOPE, USSR Academy of Sciences, 1982. – V. 2. – P. 236-272.
- Beamish R.J., Noakes D.J., Noakes D.L.G., Beamish F.W.H.** William Edwin Ricker, OC, FRSC, LL.D., D.Sc. // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2003. – V. 60. – P. III-V.
- Beck M.B.** Preface // *Environmental Foresight and Models: A Manifesto* / Ed. by M.B. Beck – Amsterdam et al.: Elsevier Sci., 2002a. – P. XIII-XVI.
- Beck M.B.** We have a problem // *Environmental Foresight and Models: A Manifesto* / Ed. by M.B. Beck – Amsterdam et al.: Elsevier Sci., 2002b. – P. 11-33.
- Beck M.B.** The Manifesto // *Environmental Foresight and Models: A Manifesto* / Ed. by M.B. Beck – Amsterdam et al.: Elsevier Sci., 2002c. – P. 61-94.
- Beddington J.R.** Age distribution and the stability of simple discrete time population models // *J. Theor. Biol.* – 1974. – V. 47, № 1. – P. 65-74.
- Beddington J.R.** Mutual interference between parasites or predators and its effect on searching efficiency // *J. Anim. Ecol.* 1975. – V. 44, № 1. – P. 331-340.
- Begon M.E., Harper J.L., Townsend C.R.** *Ökologie*. – Heidelberg; Berlin: Spektrum Akad. Verlag, 1998. – 756 S.
- Bellman R.E.** *Dynamic Programming*. – N.Y.: Dover Pubns, 2003. – 340 p.
- Berdnikov S.V., Selyutin V.V., Vasilchenko V.V., Caddy J.F.** A mathematical model of the marine food web and its use in simulation of the biological invasion into Black and Azov Seas // Books of abstracts of the conference "Environmental Mathematical Modeling and Numerical Analysis" (EMMNA'99), Rostov-on-Don, May 24-31, 1999. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1999. – P. 3-13.
- Berezovskaya F., Karev G., Arditi R.** Parametric analysis of the ratio-dependent predator-prey model // *J. Math. Biol.* – 2001. – V. 43. – P. 221-246.
- Berezovskaya F.S., Karev G.P., Kisliuk O.S. et al.** Fractal approach to computer-analytical modeling of tree crown // *J. Trees*. – 1997. – V. 11. – P. 323-327.
- Bernardelli H.F.** Population waves // *J. of the Burma Res. Soc.* – 1941. – V. 31, № 1. – P. 1-18.
- Berntson G.M., Stoll P.** Correcting for finite spatial scales of self-similarity when calculating the fractal dimensions of real-world structures // *Proc. R. Soc. Lond.* – 1997. – V. B-264. – P. 1531-1537.
- Berrio L.M.G., Gonzalez-Olivares E., Gonzalez-Yañez B.** The May-Holling-Tanner predation model with Allee effect on prey // *International Symposium on Mathematical and Computational Biology (BIOMAT 2007, 24-29 November)*. – Buzios (Brazil), 2007. – CP28. – http://www.biomat.org/biomat7/program_2007.html.

- Berryman A.A.** Principles of Population Dynamics and Their Application. – Cheltenham (UK): Stanley Thornes Publ., **1999**. – 243 p.
- Bertalanffy L. von.** Theoretische Biologie. Band 1: Allgemeine Theorie, Physikochemie, Aufbau und Entwicklung des Organismus. Band 2: Stoffwechsel, Wachstum. – Berlin-Zehendorf: Gebr. Borntraeger, **1932**. – Bd. 1. – 349 S.; **1942**. – Bd. 2. – 363 S.
- Bertalanffy L. von.** Basic concepts in quantitative biology of metabolism // Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. – **1964**. – V. 9, № 1-4. – P. 5-37.
- Betti E.** Teoria Generale della Interpretazione. 2 Vols. – Milano: Giuffrè, **1955**. – 982 p.
- Beverton R.J.H.** Raymond J.H. Beverton Lectures at Woods Hole, Massachusetts: Three Lectures on Fisheries Science Given May 2-3, 1994 / Ed. by Anderson E.D. – Massachusetts: Commerce Dept.; NOAA; Nat. Marine Fish. Service, **2002**. – 167 p.
- Beverton R.J.H., Holt S.J.** On the Dynamics of Exploited Fish Populations (Reprint, **1957**). – Caldwell (NJ): Blackburn Press, **2005**. – 533 p. (Бивертон Р., Холт С. Динамика численности промысловых рыб. – М.: Пищ. пром-сть, **1969**. – 248 с.).
- Biometrisches Wörterbuch. Bd 1, 2. – Berlin: Deutsche Landwirtschaftsverlag, **1968**. – 1047 S.
- Biosfera. 11. Pensar la biosfera. Index. – Barcelona: Enciclopedia Catalana, S.A., **1998**. – 299 p.
- Bjorksten T.A., Fowler K., Pomiakowski A.** What does sexual trait FA tell us about stress? // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – **2000**. – V. 15. – P. 163-166.
- Bliss C.J.** Statistics in Biology. – N.Y.: McGraw-Hill. – **1967**. – V. 1. – 558 p.; – **1970**. – V. 2. – 369 p.
- Bloomfield P.** Fourier Analysis of Time Series. An Introduction / 2nd Ed. – N.Y.: John Wiley & Sons, **2000**. – 288 p.
- Bock W., Salski A.** A fuzzy knowledge-based model of population dynamics of the Yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a beech forest // Ecol. Modelling. – **1998**. – V. 108. – P. 155-161.
- Bokma F.** Evidence against universal metabolic allometry // Funct. Ecol. – **2004**. – V. 18. – P. 184-187.
- Bolshakov V.N., Kryazhinskii F.V.** Ecology of populations and communities // Our Fragile World. Challenges and Opportunities for Sustainable Development. V. 2. – Oxford: EOLSS Publ. Co, **2001**. – P. 1313-1326.
- Bombelli R.** L'Algebra. Opera di Rafael Bombelli da Bologna, Libri IV e V comprendenti «La parte geometrica» inedita: Tratta dal manoscritto B. 1569: Pubblicata a cura di E. Bortolotti. – Bologna: Nicola Zanichelli, **1929**. – 303 s.
- Borda-de-Agua L., Hubbell S. P., McAllister M.** Species-area curves, diversity indices, and species abundance distributions: a multifractal analysis // Amer. Naturalist. – **2002**. – V. 159. – P. 138-155.
- Borges J.-L.** El idioma analítico de John Wilkins // Otras inquisiciones. – Buenos-Aires: Sur, **1952**. – p. 121-125. [Борхес Х.Л. Аналитический язык Джона Уилкинса / Пер. с исп. Е. Лысенко. – **2004**. – <http://rusland.bip.ru/library/global.phtml?mode=10&dirname=borges&filename=jlb14018.phtml>].
- Borshchev A., Filippov A.** From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools // The 22nd International Conference of the System Dynamics Society. – Oxford (England): System Dynamics Society, **2004**. – 22 p. – http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS_2004/PAPERS/381_BORSH.pdf.
- Bossel H.** Modeling and Simulation. – Wellesley (MA); Wiesbaden: A.K. Peters, Vieweg Braunschweig, **1994**. – 484 p. + diskette (with SIMPAS simulation software and systems zoo with 50 models).

- Botkin D.B., Janak J.F., Wallis J.R.** Some ecological consequences of a computer model of forest growth // *J. Ecol.* – **1972.** – V. 60. – P. 849-872.
- Box G.E.P.** Robustness in scientific model building // *Robustness in Statistics* / Ed. by Launer R.L., Wilkinson G.N. – N.Y.: Acad. Press, **1979.** – P. 201-236.
- Bradbury R.H., Reichelt R.E.** Fractal dimension of a coral reef at ecological scales // *Mar Ecol. Prog. Ser.* – **1983.** – V. 10. – P. 169-171.
- Bradbury R.H., Reichelt R.E., Green D.G.** Fractals in ecology: methods and interpretation // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – **1984.** – V. 14. – P. 295-296.
- Bradbury R.H., Van der Laan J.D., Green D.G.** The idea of complexity in ecology // *Senckenbergiana maritime.* – **1996.** – V. 27. – P. 89-96.
- Breder C.M. Jr.** The locomotion of fishes // *Zoologica.* – **1926.** – V. 4. – P. 159-191, 291-293.
- Breder C.M. Jr.** Studies on social groupings in fishes // *Bull. Amer. Mus. Natur. Hist.* – **1959.** – V. 117, № 3. – P. 397-481.
- Breder C.M. Jr.** Atlantis Expedition, 1934 / Ed. by Cantillo A.Y. et al. – Silver Spring (MD) et al.: Woods Hole Oceanographic Inst., **2004.** – 40 p.
- Breder C.M. Jr., Nigrelli R.F.** The influence of temperature and other factors on the winter aggregations of the sunfish, *Lepomis auritus*, with critical remarks on the social behavior of fishes // *Ecology.* – **1935.** – V. 16, № 1. – P. 33-47.
- Bremermann H.J.** Mathematische Modells von biologischen Systemen // *Bull. Soc. Fribourg. Sci. Natur.* – **1971.** – V. 6, № 2. – S. 112-113.
- Broadbent S.R., Hammersley J.M.** Percolation processes. I. Crystals and mazes // *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.* – **1957.** – V. 53. – P. 629-641
- Brooks F.P., Jr.** The Mythical Man-Month (Essays on Software Engineering) / 2nd ed. – N.Y.: Addison-Wesley Professional, **1995.** – 336 p.
- Brown J.H., Gibson A.C.** Biogeography. – St. Louis (USA): Mosby, **1983.** – 643 p.
- Brown J.H., Gupta V.K., Li B.-L. et al.** The fractal nature of nature: power laws, ecological complexity and biodiversity // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* – **2002.** – V. B-357. – P. 619-626.
- Brown J.H., Sax D.F.** An essay on some topics concerning invasive species // *Austral Ecol.* – **2004.** – V. 29. – P. 530-536.
- Brown J.H., West, G.B., Enquist B.J.** Yes, West, Brown and Enquist's model of allometric scaling is both mathematically correct and biologically relevant // *Functional Ecol.* – **2005.** – V. 19. – P. 735-738.
- Budilova E.V., Drogalina J.A., Teriokhin A.T.** Principal trends in modern ecology and its mathematical tools: an analysis of publications // *Scientometrics.* – **1997.** – V. 39, № 2. – P. 147-157.
- Budilova E.V., Teriokhin A.T.** A bibliographic data base // *Neural Networks and Neurocomputers. IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers.* – Rostov-on-Don; N.Y.: Inst. of Electrical and Electronics Engineers, **1992.** – V. 2. – P. 1125-1126.
- Budyko M.I., Golitsyn G.S., Izrael Y.A.** Global Climatic Catastrophes. – N.Y.: Springer, **1988.** – 99 p.
- Bunnell F.L.** Theological ecology or models and real world // *Forest. Chron.* – **1973a.** – V. 49, № 1. – P. 167-171.
- Bunnell F.L.** Computer Simulation of Nutrient and Lemming Cycles in an Arctic Tundra Wet Meadow Ecosystem / Ph.D. dissertation. – Berkeley: Univ. of California, **1973b.** – 312 p.
- Bunnell F.L., Dowding P.** ABISKO – a generalized decomposition model for comparisons between tundra sites // *Soil Organisms and Decomposition in Tundra: Proceedings of the Microbiology, Decomposition and Invertebrate Working Groups Meeting, University of*

- Alaska, Fairbanks, Alaska, USA, August 1973. – Stockholm: Tundra Biome Steering Committee, **1974**. – P. 227-247.
- Bunnell F.L., Scoullar K.A.** ABISKO-II. A computer simulation model of carbon flux in tundra ecosystems. Structure and function of tundra ecosystems // *Ecol. Bull.* – **1975**. – V. 20. – P. 425-448.
- Bunnell F.L., Scoullar K.A.** Between-site comparisons of carbon flux in tundra by using simulation models // *Tundra Ecosystems: A Comparative Analysis (International Biological Programme; 25)*. – N.Y.: Cambridge Univ. Press, **1981**. – P. 685-715.
- Burgin G.H.** In Memoriam: Dr. Lawrence J. Fogel // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – **2007**. – V. 11, № 3. – P. 290-293.
- Camazine S., Deneubourg J.-L., Franks N. et al.** *Self-Organization in Biological Systems*. – Princeton (NJ): Princeton Univ. Press, **2003**. – 560 p.
- Campbell R.C.** *Statistics for Biologists*. – L.: Cambridge Univ. Press, **1974**. – 585 p.
- Cao G.** The definition of the niche by fuzzy set theory // *Ecol. Modelling*. – **1995**. – V. 77. – P. 65-71.
- Carpenter S., Walker B., Anderies J.M., Abel N.** From metaphor to measurement: resilience of what to what? // *Ecosystems*. – **2001**. – V. 4. – P. 765-781.
- Carrasco-Espinoza P., Mena-Lorca J., González-Olivares E.** Qualitative analysis of continuous predator-prey model considering the Allee effect and Malthusian growth on prey // *International Symposium on Mathematical and Computational Biology (BIOMAT 2007, 24-29 November)*. – Buzios (Brazil), **2007**. – PS-2.35. – http://www.biomat.org/biomat7/program_2007.html.
- Carter W.** Royal Norton Chapman // *Science. New Series*. – **1940**. – V. 91, № 2359. – P. 255-256.
- Caswell H.** *Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation*. – Sunderland (MA): Sinauer Associates, **1989**. – 328 p. [2nd ed., 2001].
- Chalupsky H., MacGregor R.** STELLA – a Lisp-like language for symbolic programming with delivery in Common Lisp, C++ and Java // *Proc. of the 1999 Lisp User Group Meeting*. – Berkeley (CA): Franz Inc., **1999**. – 8 p. – <http://www.isi.edu/isd/LOOM/Stella/index.html>.
- Chapman D.G.** Statistical problems in population dynamics // *Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. – Berkeley (California): Univ. of California Press, **1961**. – P. 153-168.
- Chapman R.N.** *Animal Ecology, with Especial Reference to Insects*. – N.Y.; London: McGraw-Hill, **1931**. – 464 p.
- Chapman S.B.** Production ecology and nutrient budgets // *Methods in Plant Ecology*. – Oxford: Blackwell Sci. Publ., **1976**. – P. 157-228.
- Chaui-Berlinck J.G.** A critical understanding of the fractal model of metabolic scaling // *J. Exp. Biol.* – **2006**. – V. 209. – P. 3045-3054.
- Chertov O.G., Komarov A.S.** SOMM: a model of soil organic matter dynamics // *Ecol. Modelling*. – **1997**. – V. 94. – P. 177-189.
- Chertov O.G., Komarov A.S., Karev G.P.** *Modern Approaches in Forest Ecosystem Modeling*. – Leiden et al.: Brill, **1999**. – 116 p.
- Chertov O.G., Komarov A.S., Mikhailov A. et al.** Geovisualization of forest simulation modelling results: a case study of carbon sequestration and biodiversity // *Computers and Electronics in Agriculture*. – **2005**. – V. 49. – P. 175-191.
- Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M.A. et al.** ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modelling // *Ecol. Modelling*. – **2001**. – V. 138. – P. 289-308.

- Chitty D.** Population process in the vole and their relevance to general theory // *Canad. J. Zool.* – 1960. – V. 38, № 1. – P. 99-113.
- Christensen V., Walters C.J., Pauly D.** *Ecopath and Ecosim: a User's Guide.* – Vancouver: Univ. British Columbia, 2000. – 130 p.
- Christian J.J.** Population density and reproductive efficiency // *Biol. Reprod.* – 1971. – V. 4, № 3. – P. 248-294.
- Chumachenko S.I., Korotkov V.N., Palenova M.M., Politov D.V.** Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous-broadleaved forests // *Ecol. Modelling.* – 2003. – V. 170. – P. 345-361.
- Clark J.S., Carpenter S.R., Barber M. et al.** Ecological forecast: An emerging imperative // *Science.* – 2001. – № 293. – P. 657-660.
- Cole J.J., Carpenter S.R., Pace M.L. et al.** Differential support of lake food webs by three types of terrestrial organic carbon // *Ecol. Letters.* – 2006. – V. 9, № 5. – P. 558-568.
- Cole L.C.** A theory for analyses contagiously distributed populations // *Ecology.* – 1946. – V. 27, № 4. – P. 329-341.
- Cole L.C.** The measurement of interspecific association // *Ecology.* – 1949. – V. 30, № 4. – P. 411-424.
- Cole L.C.** The population consequences of life history phenomena // *Q. Rev. Biol.* – 1954. – V. 29. – P. 103-137.
- Coleman D.C., Swift D.M., Mitchell J.E.** A brief history of the USIBP Grasslands Biome program and its impacts on scientific research in North America // *Rangelands.* – 2004. – V. 26, № 4. – P. 8-15
- Collier J.D.** Critical notice: Paul Thompson, *The Structure of Biological Theories* // *Canad. J. of Philosophy.* – 1992. – V. 22. – P. 287-298.
- Connell J.H., Slatyer R.O.** Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization // *Amer. Naturalist.* – 1977. – V. 111. – P. 1119-1144.
- Costanza R.** Star Trek, Ecotopia, Big Government or Mad Max? // *Futurist.* – 1999. – № 2. – P. 23-38.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R. et al.** The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature.* – 1997. – V. 387. – P. 253-260. [рус. перевод: Костанца Р. и др. Стоимость мировых экосистемных услуг и природного капитала / Пер. с англ. А.Г. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии: Бюл. – 2011. – Т. 20, № 1. – С. 184-193].
- Costanza R., Daly H.E.** Natural capital and sustainable development // *Conservation Biol.* – 1992. – V. 6. – P. 37-46.
- Costanza R., Neill C., Leibowitz S.G. et al.** Ecological models of the Mississippi Deltaic Plain Region: data collection and presentation. – Washington (DC): FWS/OBS-82/68, U.S. Fish and Wildlife Service, Division of Biological Services, 1983. – 342 p.
- Costanza R., Sklar F.H.** Articulation, accuracy and effectiveness of mathematical models: a review of freshwater wetland applications // *Ecol. Modelling.* – 1985. – V. 27. – P. 45-68.
- Cottenie K., De Meester L.** Comment to Oksanen (2001): reconciling Oksanen (2001) and Hurlbert (1984) // *Oikos.* – 2003. – V. 100. – P. 394-396.
- Creed R.P. Jr., Miller J.R.** Interpreting animal wall-following behavior // *Experientia.* – 1990. – V. 46. – P. 758-761.
- Crowcroft P.** *Elton's Ecologists: A History of the Bureau of Animal Population.* – Chicago: Univ. Chicago Press, 1991. – 198 p.

- Csetenyi A.I., Logofet D.O.** Leslie model revisited: Some generalizations for block structures // *Ecol. Modelling*. – 1989. – V. 48. – P. 277-290.
- Cunningham G.L., Reynolds J.F.** A simulation model of primary production and carbon allocation in the creosotebush (*Larrea tridentata* [DC] Cov.) // *Ecology*. – 1978. – V. 59, № 1. – P. 37-52.
- Cushing J.M., Costantino R.F., Dennis B. et al.** Chaos in Ecology: Experimental Nonlinear Dynamics. – San Diego (California): Academic Press, 2003. – 225 p.
- Dagnelie P.** Quelques méthodes statistiques d'étude de l'homogénéité et de caractérisation de la végétation // *Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire*. – Paris: UNESCO, 1968. – P. 481-486.
- Damuth J.D.** Population density and body size in mammals // *Nature*. – 1981. – V. 290. – P. 699-700.
- Davis H.G., Taylor C.M., Civille J.C., Strong D.R.** An Allee effect at the front of a plant invasion: *Spartina* in a Pacific estuary // *J. Ecol.* – 2004. – V. 92. – P. 321-327.
- Davis R., King J.** The origin of rule-based systems in AI // *Rule Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project* / Ed. by G. Buchanan, E.H. Shortliffe. – Reading (MA): Addison-Wesley, 1984. – P. 20-52.
- DeAngelis D.L.** Dynamics of Nutrient Cycling and Food Webs. – London: Chapman and Hall, 1992. – 270 p.
- DeAngelis D.L., Goldstein R.A., O'Neill R.V.** A model for trophic interaction // *Ecology*. – 1975. – V. 56, № 4. – P. 881-892.
- DeAngelis D.L., Mooij W.M.** Individual-based modeling of ecological and evolutionary processes // *Annual Reviews of Ecology and Evolutionary Systematics*. – 2005. – V. 36. – P. 147-168.
- Debussche M., Gordon M., Lepart J., Romane F.** An account of the use of a transition matrix // *Agro-Ecosyst.* – 1977. – V. 3, № 2. – P. 81-92.
- Degermendzhi A.** The theory of microorganism coexistence in continuous-flow systems and autostabilization of density-dependent growth-controlling factors: theory, theorems and experiments // *ECEM'07: The 6th European Conference on Ecological Modelling "Challenges for Ecological Modelling in a Changing World: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management"*, Trieste (Italy). November, 27-30, 2007. – Trieste (Italy): Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, 2007. – P. 135-136.
- Degermendzhi A., Bartsev S., Erokhin D.** Forecast of biosphere dynamics using small-scale models // *ECEM'07: The 6th European Conference on Ecological Modelling "Challenges for Ecological Modelling in a Changing World: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management"*, Trieste (Italy). November, 27-30, 2007. – Trieste (Italy): Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, 2007. – P. 137-138.
- Degermendzhi N.N.** Cost-effectiveness model of water ecosystem self-purification // *ECEM'07: The 6th European Conference on Ecological Modelling "Challenges for Ecological Modelling in a Changing World: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management"*, Trieste (Italy). November, 27-30, 2007. – Trieste (Italy): Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, 2007. – P. 139-140.
- De Jong G.F., Waltz D.L.** Understanding novel language // *Computational Linguistics* / Ed. by N. Cercone. – Oxford (UK): Pergamon Press, 1983. – p. 131-147.
- De Jong K.A.** Genetic algorithms: A 10 year perspective // *Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms*. – Pittsburgh (PA): Lawrence Erlbaum Associates, 1985. – P. 169-177.

- De Jong K.A.** An Introduction to evolutionary computation and its applications // *Fuzzy Days*. – 1994. – V. 2. – P. 323-331
- Delignieres D., Ramdani S., Lemoine L. et al.** Fractal analyses for «short» time series: A re-assessment of classical methods // *J. of Math. Psychology*. – 2006. – V. 50. – P. 525-544.
- Deneubourg J.-L., Grégoire J.-C., Le Fort E.** Kinetics of larval gregarious behavior in the bark beetle *Dendroctonus micans* (Coleoptera: Scolytidae) // *J. Insect Behav.* – 1990. – V. 3. – P. 169-182.
- Denmead J.K.** Accuracy without precision – an introduction to the analogue computer // *Mathematical Models in Ecology*. – Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1972. – P. 215-235.
- Dennis B.** Allee effects and stochastic populations // *Oikos*. – 2002. – V. 96. – P. 389-401.
- Dennis B., Desharnais R., Cushing J., Costantino R.** Nonlinear demographic dynamics: mathematical models, statistical methods, and biological experiments // *Ecol. Monogr.* – 1995. – V. 65, № 3. – P. 261-281.
- Deutschman D.H., Levin S.A., Devine C., Buttell L.A.** Scaling from trees to forests: analysis of a complex simulation model // *Science*. – 1997. – V. 277, № 5332. – P. 1684. – <http://www.sciencemag.org/feature/data/deutschman/index.htm>.
- Deutschman D.H., Levin S.A., Pacala S.W.** Error propagation in a forest succession model: the role of fine-scale heterogeneity in light // *Ecology*. – 1999. – V. 80. – P. 1927-1943.
- Deutschman D.H., Devine C., Buttell L.A.** The role of visualization in understanding a complex forest simulation model // *Computer Graphics*. – 2000. – V. 34, № 1. – P. 51-55.
- Diamond P.** Fuzzy kriging // *Fuzzy Sets and Systems*. – 1989. – V. 33, № 3. – P. 315-332.
- Dice L.R.** Measures of the amount of ecological association between species // *Ecology*. – 1945. – V. 267. – P. 297-392.
- Diggle P.J.** A spatial stochastic model of inter-plant competition // *J. Appl. Probab.* – 1976. – V. 13, № 4. – P. 662-671.
- Dodds P.S., Rothman D.H., Weitz J.S.** Re-examination of the «3/4 law» of metabolism // *J. Theor. Biol.* – 2001. – V. 209. – P. 9-27.
- Dorta R., Rabinovich J.E.** ECOL: a computer language for ecological simulations with an example from pest population management // *Systems Analysis and Modelling Approaches in environment systems*. – Warsaw: Pol. Acad. Sci. Publ., 1974. – P. 133-160.
- Dawkins R.** *The Selfish Gene*. – Oxford (England): Oxford Univ. Press, 1976. – 224 с. [Докинз Р. Эгоистичный ген. – М.: Мир, 1993. – 317 с.].
- Draper N.R., Smith H.** *Applied Regression Analysis* / 2nd ed. – N.Y.: Wiley, 1967. – 407 p. [Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. В 2-х кн. – М.: Финансы и статистика, 2007. – Кн. 1. – 366 с.; Кн. 2. – 352 с.].
- Dupré J.** Review of Rosenberg's "Instrumental Biology or the Disunity of Science" // *Canadian Philosophical Rev.* – 1995. – V. 15. – P. 283-285.
- Durbin J., Watson G.S.** Testing for serial correlation in least squares regression, I // *Biometrika*. – 1950. – V. 37. – P. 409-428.
- Durbin J., Watson G.S.** Testing for serial correlation in least squares regression, II // *Biometrika*. – 1951. – V. 38. – P. 159-179.
- Efron B.** Bootstrap methods: another look at the jackknife // *Ann. Statist.* – 1979. – V. 7, № 1. – P. 1-26.
- Efroymson M.A.** Multiple regression analysis // *Mathematical Methods for Digital Computers* / Ed. by Ralson A., Wilf H.S. – N.Y.: Wiley, 1960. – P. 191-203.
- Eke A., Herman P., Bassingthwaight J.B. et al.** Fractal analysis of physiological time series // *Eur. J. Physiol.* – 2000. – V. 439. – P. 403-415.

- Eldredge N., Gould S.J.** Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism // *Models in Paleobiology* / Ed. by T.J.M. Schopf. – San Francisco: Freeman Cooper, **1972**. – P. 82-115. (Reprinted in: Eldredge N. *Time Frames*. – Princeton: Princeton Univ. Press, **1985**).
- Ellenberg H.** Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenarten // *Ber. Deut. Botan. Ges.* – **1953**. – Bd. 65. – S. 351-362.
- Elton C.S.** Periodic fluctuations in the number of animals: Their causes and effects // *Brit. J. Exp. Biol.* – **1924**. – V. 2. – P. 119-163.
- Elton C.S.** *Animal Ecology*. – London: Sidgwick & Jackson, **1927**. – 209 p.
- Elton C.S.** *Voles, Mice and Lemmings: Problems in Population Dynamics*. – London: Oxford Univ. Press, **1942**. – 496 p.
- Embrechts P., Maejima M.** *Self-similar Processes*. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **2002**. – 152 p.
- Encyclopedia of Computer Science* / 4th ed. / Ed. by A. Ralston et al. – N.Y.: Grove's Dictionaries, **2000**. – 2034 p.
- Environmental Foresight and Models: A Manifesto* / Ed. by M.B. Beck – Amsterdam et al.: Elsevier Sci., **2002**. – 490 p. (Ser. *Developments in Environmental Modelling*).
- Eskov V.M., Filatova O.E.** Computer diagnostics of the compartmentation of dynamic systems // *Measurement Techniques*. – **1994**. – V. 37, № 1. – P. 114-119.
- Fassò A.** Statistical sensitivity analysis and water quality // *Recreational Beaches: Statistical Framework for Water Quality Criteria and Monitoring*. – N.Y.: Wiley, **2006**. (GRASPA Working Paper n. 23). – <http://www.graspa.org/allegatiWP>.
- Fassò A., Esposito A., Porcu E. et al.** Nonlinear Multivariate Statistical Sensitivity Analysis of Environmental Models with Application on Heavy Metals Adsorption from Contaminated Wastewater. – **2002**. – <http://ingegneria.unibg.it/fasso>.
- Fath B., Jørgensen S.E.** *Fundamentals of Ecological Modelling. Applications in Environmental Management and Research*. – Amsterdam et al.: Elsevier, **2011**. – 350 p.
- Fath B.D., Jørgensen S.E., Patten B.C., Straškraba M.** Ecosystem growth and development // *BioSystems*. – **2004**. – V. 77. – P. 213-228.
- Faubert P., Lindner M., Thürig E. et al.** Comparison of soil carbon stocks and stock changes simulated with four soil models // Meyer J., Vilén T., Peltoniemi M. et al. *Uncertainty Estimate of the National Level Biomass and Soil Carbon Stock and Stock Change*. – Graz (Austria): Joanneum research, **2005**. – P. 31-57.
- Feigenbaum M.J.** Universal behavior in nonlinear systems // *Los Alamos Science*. – **1980**. – V. 1, № 1. – P. 4-27.
- Ferber J.** *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. – N.Y.: Addison-Wesley, **1999**. – 512 p.
- Final Program for the 49th Annual Meeting of the American Institute of Biological Sciences. – Baltimore (Maryland): AIBS, **1998**. – 278 p.
- Fisher R.A.** *Statistical Methods for Research Workers* / 2nd ed. – Edinburgh: Oliver and Boyd, **1925**. – 269 p.*
- Fisher R.A.** The wave of advance of advantageous genes // *Ann. Eugenics*. – **1937**. – V. 7. – P. 353-369.
- Fishwick P.** *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*. – N.Y.: Prentice Hall, **1995**. – 432 p.
- Fleishman B.S.** Philosophy of systemology // *Cybernetica*. – **1976**. – V. 19, № 4. – P. 261-272.

* Известно более 20 изданий этой книги.

- Fleishman B.S.** Stochastic theory of complex ecological systems // *Complex Ecology* / Ed. by B. Patten, S. Jorgenson. – Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice Hall PTP; A. Simon & Schuster, **1995**. – P. 166-224.
- Florek K., Lukaszewicz J., Perkal J., Zubrzycki S.** Taksonomia Wroclawska // *Przeglad Antropol.* – **1951**. – V. 17. – P. 193-211.
- Fogel L.J.** Intelligence through Simulated Evolution: Forty Years of Evolutionary Programming. – N.Y.: Wiley, **1999**. – 162 p.
- Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J.** Artificial Intelligence through Simulated Evolution. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., **1966**. – 170 p.
- Forrester J.W.** Industrial Dynamics. – Waltham (MA): Pegasus Communications, **1961**. – 464 p.
- Forrester J.W.** Urban Dynamics. – Waltham (MA): Pegasus Communications, **1969**. – 285 p.
- Forrester J.W.** World Dynamics. – Waltham (MA): Pegasus Communications, **1971**. – 144 p.
- Forrester J.W.** Collected Papers of Jay W. Forrester. – Waltham (MA): Pegasus Communications, **1975**. – 284 p.
- Forrester J.W.** System dynamics and the lessons of 35 years // *The Systemic Basis of Policy Making in the 1990s* / Ed. by De Greene K.B. – Massachusetts: Sloan School of Management MIT, **1991**. – 35 p. – <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/D-4224-4.pdf>.
- Forrester J.W.** System Dynamics: the Foundation under Systems Thinking [HTML format]. – Sloan School of Management MIT, **1999**. – <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/D-4828.html>.
- Fourcassie V., Coughlin D., Trainello J.F.A.** Fractal analysis of search behavior in ants // *Naturwissenschaften*. – **1992**. – V. 79. – P. 87-89.
- Frisman E.Y., Last E.V., Skaletskaya E.I.** Population dynamics of harvested species with complex age structure (for Pacific salmon fish stocks as an example) // *Ecol. Modelling*. – **2006**. – V. 198. – P. 463-472.
- Frisman E.Y., Skaletskaya E.I.** A mathematical model of the population dynamics of a local northern fur-seal herd // *Ecol. Modelling*. – **1982**. – V. 16. – P. 151-172.
- Fritts H.C., Blasing T.J., Hayden B.P., Kutzbach J.E.** Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate // *J. Appl. Meteorol.* – **1971**. – V. 10, № 5. – P. 845-864.
- Fritts H.C., Wu X.** A comparison between response-function analysis and other regression techniques // *Treering Bull.* – **1986**. – V. 46. – P. 31-46.
- Fuzzy Logic in Ecological Modeling / Ed. by Salski A., Franzle O., Kandzia P. // *Ecol. Modelling* (Special Issue). – **1996**. – V. 85. – P. 1-98.
- Fuzzy Logic in Environmental Sciences: A Bibliography. – URL. – http://www.chebucto.ns.ca/Science/AIMET/fuzzy_environment/.
- Fuzzy Modelling in Ecology / Ed. Li B.-L. // *Ecol. Modelling*. (Special Issue). – **1996**. – V. 90, № 2. – P. 1-96.
- Fuzzy Modelling: Paradigms and Practice / Ed. by Pedrycz W. – Boston: Kluwer Acad. Publ., **1996**. – 416 p. (Series: International Series in Intelligent Technologies, V. 7).
- Gabor D.** Cybernetics and the future of industrial civilization // *J. Cybernetics*. – **1971**. – V. 2, № 1. – P. 1-4.
- Gabriel J.-P., Saucy F., Bersier L.-F.** Paradoxes in the logistic equation // *Ecol. Modelling*. – **2005**. – V. 185. – P. 147-151.
- Garfinkel D.** Digital computer simulation of ecological systems // *Nature*. – **1962**. – V. 194, № 4831. – P. 856-857.

- Garifullin M., Borshchev A., Popkov T.** Using anylogic and agent-based approach to model consumer market. – 2007. – <http://www.xjtek.com/support/download/papers/>.
- Gasparski W.** On praxiology of preparatory actions // *Int. J. of General Systems.* – 1987. – № 13. – P. 345-353.
- Gauch H.G.** ORDIFLEX a Flexible Computer Program for Four Ordination techniques: Weighted Averages, Polar ordination, Principal Component Analysis and Reciprocal Averaging: Release B. – Ithaca; N.Y.: Cornell Univ., 1977. – 195 p.
- Gauch H.G.** *Multivariate Analysis in Community Ecology.* – Cambridge: Univ. Press, 1982. – 314 p.
- Gause G.F.** Experimental studies of the struggle for existence // *J. Exp. Biol.* – 1932. – V. 9, № 4. – P. 389-402.
- Gause G.F.** Experimental analysis of Vito Volterra's mathematical theory of struggle for existence // *Science.* – 1934a. – V. 79. – P. 16-17.
- Gause G.F.** *The Struggle for Existence.* – Baltimore: The Williams & Wilkins Co., 1934b. – 163 p. (Reprint. – N.Y.: Dover Publ., 1971. – 163 p.).
- Gause G.F.** Experimental demonstration of Volterra's periodic oscillation in the numbers of animals // *J. Exp. Biol.* – 1935. – V. 12, № 1. – P. 44-48.
- Gautestad A.O., Mysterud I.** Physical and biological mechanisms in animal movement processes // *J. Appl. Ecol.* – 1993. – V. 30. – P. 523-535.
- Gautestad A.O., Mysterud I.** Are home ranges fractals? A comment to: Loehle, C. 1990. Home range: a fractal approach // *Landscape Ecology* 5: 39-52 // *Landscape Ecol.* – 1994a. – V. 9, № 2. – P. 143-146.
- Gautestad A.O., Mysterud I.** Fractal analysis of population ranges: methodological problems and challenges // *Oikos.* – 1994b. – V. 69. – P. 154-157.
- Gelovani V.A., Dubovsky S.V., Yurchenko V.V.** Methodological problems in global models // *Simulation.* – 1979. – V. 33, № 1. – P. 19-23.
- Getz W.M.** A hypothesis regarding the abruptness of density dependence and the growth rate of populations // *Ecology.* – 1996. – V. 77. – P. 2014-2026.
- Getz W.M.** An introspection on the art of modeling in population ecology // *BioScience.* – 1998. – V. 48. – P. 540-552.
- Getz W.M., Haight R.C.** *Population Harvesting: Demographic Models of Fish, Forest and Animal Resources.* – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, 1989. – 391 p.
- Gilbert E.N.** Random graphs // *Ann. Math. Statistics.* – 1959. – V. 30, № 4. – P. 1141-1144.
- Gilbert R.O.** *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring.* – Reinhold: Van Nostrand, 1987. – 320 p.
- Gillman M.** *An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space / 2nd ed.* – Oxford et al.: Wiley-Blackwell, 2009. – 158 p. (Ser. Ecological methods and concepts).
- Gillman M.P., Dodd M.E.** The variability of orchid population size // *Bot. J. Linnean Soc.* – 1998. – V. 126, № 1-2. – P. 65-74.
- Gillooly J.F., Allen A.P., Brown J.H., West G.B.** The rate of DNA evolution: effects of body size and temperature on the molecular clock // *Proc. National Acad. of Sci. USA.* – 2005. – V. 102. – P. 140-145.
- Gillooly J.F., Brown J.H., West G.B. et al.** Effects of size and temperature on metabolic rate // *Science.* – 2001. – V. 293. – P. 2248-2251.
- Gillooly J.F., Charnov E.L., West G.B. et al.** Effects of size and temperature on developmental time // *Nature.* – 2002. – V. 417. – P. 70-73.

- Gilpin M.E.** Do hares eat lynx? // Amer. Naturalist. – 1973. – V. 107, № 957. – P. 727-730.
[рус. перевод: Гилпин М. Едят ли зайцы рысей? / Пер. с англ. Г.С. Розенберга // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии: Бюл. – 2010. – Т. 19, № 3. – С. 177-179.]
- Gilpin M.E.** Group Selection in Predator–Prey Communities. – N.Y.; Princeton: Princeton Univ. Press, 1975. – 124 p. (Monographs in Population Biology. V. 9).
- Ginzburg L.** The theory of population dynamics: 1. Back to first principles // J. Theoretical Biol. – 1986. – V. 122. – P. 385-399.
- Ginzburg L.** Evolutionary consequences of basic growth equations // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – 1992a. – V. 7, № 4. – P. 133.
- Ginzburg L.** Reply from L. Ginzburg // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – 1992b. – V. 7, № 9. – P. 316-317.
- Ginzburg L.** Reply from L. Ginzburg // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – 1993. – V. 8, № 2. – P. 70-71.
- Ginzburg L., Colyvan M.** Ecological Orbits: How Planets Move and Populations Grow. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 2004. – 184 p.
- Ginzburg L.R., Jensen C.X.J.** Rules of thumb for judging ecological theories // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – 2004. – V. 19, № 3. – P. 121-126.
- Glazier D.S.** Beyond the «3/4-power law»: variation in the intra- and interspecific scaling of metabolic rate in animals // Biol. Rev. – 2005. – V. 80. – P. 611-662.
- Gleason H.A.** On the relation between species and area // Ecology. – 1922. – V. 3. – P. 158-162.
- Gnauck A.H.** Time series analysis of water quality data // Process Modelling. – Berlin: Springer, 1999. – P. 509-525.
- Godron M.** Comparison of a species area curve with its model // Oecol. Plant. – 1971. – V. 6, № 2. – P. 189-195.
- Goel N.S., Maitra S.C., Montroll E.W.** On the Volterra and other nonlinear models of interacting populations // Rev. Modern Phys. – 1971. – V. 43, № 2, part 1. – P. 231-276.
- Goldberg D.E.** Genetic Algorithms for Search, Optimization, and Machine Learning. – Reading (MA): Addison-Wesley Professional, 1989. – 432 p.
- Goldberg D.E.** The Design of Innovation (Genetic Algorithms and Evolutionary Computation). – Norwell (Massachusetts): Kluwer Acad. Publ., 2002. – 272 p.
- Goldberg D.E., Holland J.H.** Genetic algorithms and machine learning // Machine Learning. – 1988. – V. 3. – P. 95-99.
- Goldstein R.A.** Reality and models: difficulties associated with applying general ecological models to specific situations // Lect. Notes Biomath. – 1977. – V. 13, № 1. – P. 207-215.
- Golub V.B., Mirkin B.M.** Grassland of the Lower Volga Valley // Folia Geobot. et Phytotax. – 1986. – V. 21, № 4. – P. 337-395.
- Gomatam J.** A new model for interacting populations two species systems // Bull. Math. Biol. – 1974. – V. 36. – P. 347-353.
- González-Olivares E., Meneses-Alcay H., Mena-Lorca J. et al.** Allee effect, emigration and immigration in a class of predator–prey models // International Symposium on Mathematical and Computational Biology (BIOMAT 2007, 24-29 November). – Buzios (Brazil), 2007. – CP18. – http://www.biomat.org/biomat7/program_2007.html.
- Goodall D.W.** Bibliography of statistical plant sociology // Excerpta Botanica. Sect. B. Sociologica. – 1962. – V. 4, № 4. – P. 253-322.
- Goodall D.W.** Computer simulation of changes in vegetation subject to grazing // J. Ind. Bot. Soc. – 1967. – V. 46, № 4. – P. 356-362.

- Goodall D.W.** Building and testing ecosystem models // *Mathematical Models in Ecology*. 12th Symp. – Oxford: Blackwell Sci. Publ., **1972**. – P. 173-194.
- Goodall D.W.** The hierarchical approach to model building // *Critical Evaluation of Systems Analysis in Ecosystems Research and Management*. – Wageningen: Centre for Agricult. Publ. and Document., **1976**. – P. 10-21.
- Goodman D.** The theory of diversity–stability relationships in ecology // *The Quart. Rev. Biol.* – **1975**. – V. 50, № 3. – P. 237-266.
- Goodman L.A.** The analysis of population growth when the birth and death rates depend upon several factors // *Biometrics*. – **1969**. – V. 25. – P. 659-681.
- Gordon G.** A general purpose systems simulation program // *Proceedings of EJCC*. – Washington (DC): McMillan NY, **1961**. – P. 87-104.
- Gordon G.** *System Simulation* / 2nd ed. – Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, **1978**. – 324 p.
- Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M.** Biotic Regulation of the Environment: Key Issue of Global Change. – London: Springer-Verlag, **2000**. – 367 p. (Springer-Praxis Series in Environmental Sciences).
- Gotelli N.J., Ellison A.M.** Biogeography at a regional scale: determinants of ant species density in New England bogs and forests // *Ecology*. – **2002**. – V. 83. – P. 1604-1609.
- Gotelli N.J., McGill B.J.** Null versus neutral models: what's the difference? // *Ecography*. – **2006**. – V. 29, № 5. – P. 793-800.
- Graham S.A.** Royal Norton Chapman, 1889-1939 // *Ann. Entomolog. Soc. America*. – **1941**. – V. 34, № 3. – P. 521-524.
- Grassland Simulation Model* / Ed. by Innis G.S. – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – 298 p.
- Green J.L., Harte J., Ostling A.** Species richness, endemism and abundance patterns: tests of two fractal models in a serpentine grassland // *Ecol. Letters*. – **2003**. – V. 6. – P. 919-928.
- Greig-Smith P.** *Quantitative Plant Ecology*. – N.Y.; London: Acad. Press; Butter Worths Scientific Publ., **1957**. – 198 p. (2nd ed. – London: Butter Worths Scientific Publ., **1964**. – 256 p.; 3rd ed. – Berkeley: Univ. of California Press, **1983**. – 359 p.).
- Grime J.P.** *Plant Strategies and Vegetation Processes*. – Chichester; N.Y.: Wiley, **1979**. – 222 p.
- Grimm V.** Mathematical models and understanding in ecology // *Ecol. Model.* – **1994**. – V. 75/76. – P. 641-651.
- Grimm V.** Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? // *Ecol. Modelling*. – **2002**. – V. 115, № 2-3. – P. 129-148.
- Grimm V., Berger U.** Seeing the forest for the trees, and vice versa: pattern-oriented ecological modeling // *Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology* / Ed. by Seuront L., Strutton P.G. – Boca Raton: CRC Press, **2003**. – P. 411-428.
- Grimm V., Berger U., Bastiansen F. et al.** A standard protocol for describing individual-based and agent-based models // *Ecol. Modelling*. – **2006**. – V. 198. – P. 115-126.
- Grimm V., Railsback S.F.** *Individual-Based Modeling and Ecology*. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **2005**. – 428 p. (Princeton Series in Theoretical and Computational Biology)
- Grimm V., Revilla E., Berger U. et al.** Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: lessons from ecology // *Science*. – **2005**. – V. 310, № 5750. – P. 987-991.
- Grimm V., Uchmanski J.** Individual variability and population regulation: a model of the significance of within-generation density dependence // *Oecologia*. – **2002**. – V. 131. – P. 196-202.
- Grimm V., Wyszomirski T., Aikman D., Uchmanski J.** Individual-based modelling and ecological theory: synthesis of a workshop // *Ecol. Modelling*. – **1999**. – V. 115. – P. 275-282.
- Grinnell J.** The niche relationships of the California Thrasher // *Auk*. – **1917**. – V. 34. – 427-433.

- Grünbaum D.** Translating stochastic density dependent individual behavior with sensory constraints to an Eulerian model of animal swarming // *J. Math. Biol.* – **1994.** – V. 33. – P. 139-161.
- Gustafson J.D.** Appendix 1.A. SIMCOMP 3.0 // *Grassland Simulation Model.* – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978.** – P. 22-30.
- Gustafson J.D., Innis G.S.** SIMCOMP Version 3.0. User's Manual. – US/IBP Grassland Biome Techn. Rep. № 218. – Fort Collins: Col. State Univ. Press, **1973.** – 149 p.
- Haeckel E.** Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Deszendenz-Theorie. – Berlin: Druck und Verlag von Georg Reimer, **1866.** – Bd. 2: Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen. Kritische Grundzüge der mechanischen Wissenschaft von den entsenden Formen der Organismen, begründet durch die Deszendenz-Theorie. – 462 s.
- Håkanson L., Boulion V.V.** The Lake Foodweb – Modelling Predation and Abiotic / Biotic Interactions. – Leiden (The Netherlands): Backhaus Publ., **2002a.** – 344 p.
- Håkanson L., Boulion V.V.** Empirical and dynamical models to predict the cover, biomass and production of macrophytes in lakes // *Ecological Modeling.* – **2002b.** – V. 151, № 2-3. – P. 213-243.
- Haken H.** Synergetics, an Introduction. Nonequilibrium Phase-Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology – Berlin; N.Y.: Springer, **1977.** – 355 p. (Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, **1980.** – 406 с.).
- Hale J.** Theory of Functional Differential Equations. – N.Y. et al.: Springer Verlag, **1977.** – 360 p.
- Halley J.M.** Comparing aquatic and terrestrial variability: at what scale do ecologists communicate? // *Marine Ecol. Progress Ser.* – **2005.** – V. 304. – P. 274-280.
- Hammersley J.M.** Percolation processes. II. The connective constant // *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.* – **1957a.** – V. 53. – P. 642-645.
- Hammersley J.M.** Percolation processes: Lower bounds for the critical probability // *Annals of Mathematical Statistics.* – **1957b.** V. 28. – P. 790-795.
- Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology / Ed. by Seuront L., Strutton P.G.* – Boca Raton: CRC, **2003.** – 600 p.
- Hannon B.** The structure of ecosystems // *J. Theor. Biol.* – **1973.** – V. 41. – P. 535-546.
- Hannon B., Ruth M.** Modeling Dynamic Biological System. – N.Y. et al.: Springer Verlag, **1997.** – 398 p.
- Hansen P.E.** Leslie matrix models // *Mathematical Population Studies.* – 1989. – V. 2, № 1. – P. 37-67.
- Harper J.L.** Population Biology of Plants. – L.: Acad. Press, **1977.** – 892 p.
- Harper J.L., Clatworthy J.N.** The comparative biology of closely related species. VI. Analysis of the growth of *Trifolium repens* and *T. fragiferum* in pure and mixed population // *J. Exp. Bot.* – **1973.** – V. 14, № 2. – P. 172-190.
- Harte J., Kinzig A.P., Green J.L.** Self-similarity in the distribution and abundance of species // *Science.* – **1999.** – V. 284. – P. 334-336.
- Hartvigsen G., Kinzig A., Peterson G.** 1998. Use and analysis of complex adaptive systems in ecosystem science: Overview of special section // *Ecosystems.* – **1998.** – V. 1. – P. 427-430.
- Harvey B.** Computer Science Logo Style (V. 1: Symbolic Computing; V. 2: Advanced Techniques; V. 3: Beyond Programming). – Cambridge (MA): MIT Press, **1997.** – 1068 p.

- Hassell M.P., Comins H.N., May R.** Spatial structure and chaos in insect population dynamics // *Nature*. – **1991**. – V. 353. – P. 255-258.
- Hastings A.** Review of time lags in biological models by Norman MacDonald // *Quarterly Rev. Biol.* – **1979**. – V. 54. – P. 496.
- Hastings A.** *Population Biology: Concepts and Models*. 2nd ed. – N.Y.: Springer Verlag, **1997**. – 320 p.
- Hayes D.B.** A biological reference point based on the Leslie matrix // *Fish. Bull.* – **2000**. – V. 98. – P. 75-85.
- Heffner R.A., Butler M.J. IV, Reilly C.K.** Pseudoreplication revisited // *Ecology*. – **1996**. – V. 77, № 8. – P. 2558-2562.
- Heinrich R., Gnauck A.H.** Visualization of surface water quality data – an interpolation method using cellular automata in GIS // *Proceedings, InterCarto-InterGIS 12, Berlin 2006* / Ed. by H. Kremers, V. Tikunov. – Berlin; Brandenburg: Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V. Sektion, **2006**. – P. 174-181.
- Hemmingsen A.M.** Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution // *Rep. Steno. Mem. Hosp. Nord. Insulin Lab. (Copenhagen)* – **1960**. – V. 9. – P. 6-110.
- Hennekens S.M.** TURBO (VEG). Software Package for Input, Processing, and Presentation of Phytosociological Data. Version 1.0. IBNDLO. – Lancaster, **1996**. – 52 p.
- Hilborn R., Mangel M.** *The Ecological Detective: Confronting Models with Data*. – Princeton (NJ, USA), Princeton Univ. Press, 1997. – 330 p. (Monographs in Population Models. V. 28).
- Hill M.O.** TWINSPLAN a FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of the Individuals and the Attributes. *Ecology and Systematic*. – Ithaca: Cornell Univ. Press, **1979**. – 48 p.
- Hjeljord O., Sundstol F., Haagenrud H.** The nutritional value of browse to moose alces-alces // *J. of Wildlife Manag.* – **1982**. – V. 46. – P. 333-343.
- Holland J.H.** Genetic algorithms and the optimal allocation of trials // *SIAM J. Comput.* – **1973**. – V. 2, № 2. – P. 88-105.
- Holland J.H.** *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. – Ann Arbor (MI): Univ. of Michigan Press, **1975**. – 183 p. (2nd ed. – Boston (MA): MIT Press, 1992).
- Holland J.H.** A derived Markov process for modeling reaction networks // *Evolutionary Computation*. – **2003**. – V. 11, № 4. – P. 339-362.
- Holling C.S.** Some characteristics of simple types of predation and parasitism // *Canad. Entomologist*. – **1959**. – V. 91. – P. 385-398.
- Holling C.S.** The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation // *Mem. Ent. Soc. Can.* – **1965**. – V. 45. – P. 1-60.
- Hopfield J.J.** Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // *Proceedings of National Academy of Sciences*. – **1982**. – V. 79, № 8. – P. 2554-2558.
- Hopkins B.** The species-area relations of plant communities // *J. Ecol.* – **1955**. – V. 43. – P. 409-426.
- Hubbell S.P.** *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. – Princeton; Oxford: Princeton Univ. Press, **2001**. – 375 p.
- Hubbell S.P.** Neutral theory in community ecology and the hypothesis of functional equivalence // *Functional Ecol.* – **2005**. – V. 19. – P. 166-172.
- Hurlbert S.H.** Pseudoreplication and the design of ecological field experiments // *Ecol. Monographs*. – **1984**. – V. 54. – P. 187-211. [рус. перевод: Хёлберт С. Мнимые повторности

- и планирование экологических полевых экспериментов // Планирование экологического эксперимента. – Тольятти: СамНЦ РАН; Кассандра, **2008**. – С. 9-45].
- Hurlbert S.H.** On misinterpretations of pseudoreplication and related issues: A reply to Oksanen // *Oikos*. – **2004**. – V. 104. – P. 591-597.
- Hurst H.E.** The Elements of Computation. – Cairo: Schindler's Press, **1941**. – 141 p.
- Hurst H.E.** Long term storage capacity of reservoirs // *Transact. Amer. Soc. Civil Engineers*. – **1951**. – V. 116. – P. 770-808.
- Hurst H.E.** Methods of using long-term storage in reservoirs // *Proc. Inst. Civil Engineers*. – **1955**. – V. 5. – P. 519-590.
- Hurst H.E., Black R., Simaika Y.M.** Long-Term Storage in Reservoirs: An Experimental Study. – London: Constable, **1965**. – 145 p.
- Hutchinson G.E.** Circular causal mechanisms in ecology // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* – **1948**. – V. 50. – P. 221-246.
- Hutchinson G.E.** Concluding remarks // *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. – **1957**. – V. 22, № 2. – P. 415-427.
- Hutchinson G.E.** An Introduction to Population Ecology. – New Haven: Yale Univ. Press, **1978**. – 271 p.
- Ihaka R., Gentleman R.** R: A language for data analysis and graphics // *J. Comp. & Graph. Stat. (Amer. Stat. Ass.)*. – **1996**. – V. 5, № 3. – P. 299-314.
- Improvement of Desert Ranges in Soviet Central Asia / Ed. by N.T. Nechaeva. – London: Taylor & Francis, **1985**. – 328 p.
- Individual-Based Models and Approaches in Ecology: Populations, Communities and Ecosystems / Ed. by DeAngelis D.L., Gross L.J. – N.Y.: Chapman & Hall, **1992**. – 525 p.
- Individual-Based Models in Ecology / Eds. Uchmanski J., Aikman D., Wyszomirski T., Grimm V. – Special Issue in "Ecological Modelling". – **1999**. – V. 115. – P. 109-290.
- Innis G.S.** Objectives and structure for a grassland biome study // *Grassland Simulation Model* / Ed. by Innis G.S. – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – P. 1-21.
- Innis G.S.** Letter to the Editor // *Bull. Ecol. Soc. Amer.* – **1979a**. – V. 60. – P. 142.
- Innis G.S.** Statistical quality // *Science*. – **1979b**. – V. 204, № 4390. – P. 242.
- Iudin D.I., Gelashvili D.B.** Multifractality in ecological monitoring // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* – **2003**. – V. 502. – P. 799-801.
- Iudin D.I., Kas'yanov D.A.** Percolation model of seismic activity // *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes* / Ed. by M. Hayakawa. – Tokyo: Terra Sci. Pub. Co., **1999**. – P. 911-917.
- Ivakhnenko A.G., Savchenko E., Ivakhnenko G.A.** GMDH algorithm for optimal model choice by the external error criterion with the extension of definition by model bias and its applications to the committees and neural networks // *Pattern Recognition and Image Analysis*. – **2002**. – V. 12, № 4. – P. 347-353.
- Ivlev V.S.** Transformation of energy by aquatic animals // *Intern. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr.* – **1939**. – V. 38. – P. 449-454.
- Jacquez J.A.** Compartmental Analysis in Biology and Medicine. Kinetics of Distribution of Tracer-Labeled Materials. – Amsterdam et al.: Elsevier, **1972**. – 237 p.
- Jeanson R., Rivault C., Deneubourg J.-L. et al.** Self-organized aggregation in cockroaches // *Animal Behaviour*. – **2005**. – V. 69, № 1. – P. 169-180.
- Jeffers J.N.R.** An Introduction to Systems Analysis: with Ecological Applications. – London: Edward Arnold, **1978**. – 198 p.
- Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A.** Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming // *Nature*. – **1991**. – V. 351. – P. 304-306.

- Johnson A.R., Milne B.T., Wiens J.A.** Diffusion in fractal landscapes: simulations and experimental studies of tenebrionid beetle movements // *Ecology*. – **1992**. – V. 73. – P. 1968-1983.
- Johnson A.T.** *Biological Process Engineering: An Analogical Approach to Fluid Flow, Heat Transfer, and Mass Transfer Applied to Biological Systems*. – N.Y.: John Wiley and Sons, **1999**. – 752 p.
- Jones G.S.** Asymptotic behavior and periodic solutions of a non-linear difference equation // *Proc. National Acad. of Sci. USA*. – **1961**. – V. 47. – P. 879-882.
- Jørgensen S.E.** An eutrophication model for a lake // *Ecol. Modelling*. – **1976**. – V. 2. – P. 147-165.
- Jørgensen S.E.** Eutrophication models of lakes // *Application of Ecological Modelling in Environmental Management. Part A* / Ed. by S.E. Jørgensen. – Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., **1983**. – P. 227-282.
- Jørgensen S.E.** *Integration of Ecosystem Theories: a Pattern 2nd*. – Dordrecht: Kluwer, **1997**. – 400 p.
- Jørgensen S.E.** *Thermodynamics and Ecological Modeling*. – Boca Raton (Florida): CRC Press LLC, **2000**. – 384 p. [Ser.: Environmental & Ecological (Math) Modeling, V. 4].
- Jørgensen S.E.** *Eco-exergy as Sustainability*. – Southampton (UK); Boston (USA): WIT Press, **2006**. – 220 p. (Ser.: The Sustainable World, V. 16).
- Jørgensen S.E., Fath B.D., Bastianoni S. et al.** *A New Ecology. Systems Perspective*. – Amsterdam et al.: Elsevier, **2007**. – 275 p.
- Jørgensen S.E., Mejer H.F.** Ecological buffer capacity // *Ecol. Modelling*. – **1977**. – V. 3. – P. 39-61.
- Jørgensen S.E., Mejer H.F.** A holistic approach to ecological modelling // *Ecol. Modelling*. – **1979**. – V. 7. – P. 169-189.
- Jørgensen S.E., Mejer H., Nielsen S.N.** Ecosystem as self-organizing critical systems // *Ecol. Modelling*. – **1998**. – V. 111. – P. 261-268.
- Jørgensen S.E., Nielsen S.N.** Application of exergy as thermodynamic indicator in ecology // *Energy*. – **2007**. – V. 32, № 5. – P. 673-685.
- Jørgensen S.E., Nielsen S.N., Mejer H.** Emergy, environ, exergy and ecological modelling // *Ecol. Modelling*. – **1995**. – V. 77. – P. 99-109.
- Jørgensen S.E., Svirezhev Y.M.** *Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems*. – Amsterdam et al.: Elsevier, **2004**. – 366 p.
- Jovani R., Tella J.L.** Fractal bird nest distribution produces scale-free colony sizes // *Proc. R. Soc. B*. – **2007**. – V. 274. – P. 2465-2469.
- Juhász-Nagy P.** Some theoretical problems of synbotany. 1. Primary considerations on a conceptual network // *Acta Univ. Debrecen, ser. Biol.* – **1966a**. – V. 4. – P. 59-66.
- Juhász-Nagy P.** Some theoretical problems of synbotany. 2. Preliminaries on an axiomatic model building // *Acta Univ. Debrecen, ser. Biol.* – **1966b**. – V. 4. – P. 67-81.
- Juhász-Nagy P.** Some theoretical problems of synbotany. 3. The importance of methodology // *Acta Univ. Debrecen, ser. Biol.* – **1968**. – V. 6. – P. 65-77.
- Kakutani S.** *Shizuo Kakutani: Selected Papers. 2 Vols* / Ed. by Kallman R.R. – Boston (MA): Birkhauser Verlag AG, **1986**. – V. I. – 448 p.; V. II. – 438 p.
- Kakutani S., Marcus L.** On the non-linear difference-differential equations $y'(t) = [A + By(t-\tau)]y(t)$ // *Contributions to the Theory of Nonlinear Oscillations. IV. Annals of Mathematics Study*. V. 41. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **1958**. – P. 1-18.
- Kamp-Nielsen L.** Mud-water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and factors affecting the exchange rates // *Arch. Hydrobiol.* – **1974**. – V. 73. – P. 218-237.

- Kareiva P., Odell G.** Swarms of predators exhibit prey-taxis if individual predators use area restricted search // *Amer. Naturalist*. – **1987**. – V. 30. – P. 233-270.
- Karkach A.S.** Trajectories and models of individual growth // *Demographic Res.* – **2006**. – V. 15, № 12. – P. 347-400. – <http://www.demographic-research.org/Volumes/Vol15/12/>.
- Karplus W.J.** The place of systems ecology models in the spectrum of mathematical models // *Simulat. Counc. Proc. Ser.* – **1975**. – V. 5, № 2. – P. 225-228.
- Keitt T.H., Stanley H.E.** Dynamics of North American breeding bird populations // *Nature*. – **1998**. – V. 393, № 5. – P. 257-260.
- Keller E.F.** Mathematical aspects of chemotaxis // *Chemotaxis: its Biology and Biochemistry (Antibiotics and Chemotherapy)* / Ed. by E. Sorkin. – Basel: S. Karger, **1974**. – V. 19. – P. 79-93.
- Kerns G.J.** Introduction to Probability and Statistics Using R /PDF-Book. – **2010**. – 386 p. – <http://stat.ethz.ch/CRAN/web/packages/IPSUR/vignettes/IPSUR.pdf>.
- Kershaw K.A., Harris G.P.** Simulation studies in ecology: a simple defined system model // *Statistical Ecology*. – Philadelphia: Univ. Pennsylvania Press, **1969**. – V. 3. – P. 1-21.
- Kershaw K.A., Loomly J.H.** Quantitative and Dynamic Plant Ecology. – London: Ed. Arnold (Publ.) Limited, **1985**. – 282 p.
- Kettenring K.M., Martinez B.T., Starfield A.M., Getz W.M.** Good practices for sharing ecological models // *BioScience*. – **2006**. – V. 56, № 1. – P. 59-64.
- Keulen H. van.** Evaluation of models // *Critical Evaluation of Systems Analysis in Ecosystems Research and Management*. – Wageningen: Centre for Agricult. Publ. and Document, **1976**. – P. 22-29.
- Keulen H. van, Seligman N.G., Benjamin R.W.** Simulation of water use and herbage growth in arid regions – A re-evaluation and further development of the model "Arid Crop" // *Agricultural systems*. – **1981**. – V. 6. – P. 159-193.
- Keulen H. van, Wit C.T. de, Lof H.** The use of simulation models for productivity studies in arid region // *Ecol. Stud.* – **1976**. – V. 19, № 2. – P. 408-420.
- Keulen H. van, Wolf J.** Modeling of agricultural production: weather, soils, and crops. – Wageningen: Pudoc, **1986**. – 479 p.
- Khusniyarova A.** Об острове Барро-Колорадо. – **2009**. – http://www.panama.ru/content/articles/index.php?ELEMENT_ID=1903.
- Kindler E.** COSMO, Compartmental System Modelling, description of a programming system // *Simulation Programming Languages* / Ed. by J.N. Buxton. – Amsterdam: North-Holland Publ., **1968**. – P. 402-424.
- King A.W., O'Neill R.V., DeAngelis D.L.** Using ecosystem models to predict regional CO₂ exchange between the atmosphere and the terrestrial biosphere // *Glob. Biogeochem. Cycles*. – **1989**. – V. 3, № 4. – P. 337-362.
- King A.W., Post W.M., Wullschleger S. D.** The potential response of terrestrial carbon storage to changes in climate and atmospheric CO₂ // *Climatic Change*. – **1997**. – V. 35. – P. 199-227.
- Kingsland S.E.** Modeling Nature: Episodes in the History of Population Ecology (Science & Its Conceptual Foundations). 2nd ed. – Chicago: Univ. Press, **1995**. – 315 p.
- Kleiber M.** Body size and metabolism // *Hilgardia*. – **1932**. – V. 6. – P. 315-353.
- Klevanny K.A., Matveyev G.V., Voltzinger N.E.** An integrated modeling system for coastal area dynamics // *Internat. J. Numer. Methods in Fluids*. – **1994**. – V. 19. – P. 181-206.
- Kohonen T.** Self-organized formation of topologically correct feature maps // *Biological Cybernetics*. – **1982**. – № 43. – P. 59-69.

- Kohonen T.** Self-Organizing Maps. 3rd Ed. Springer Series in Information Sciences, V. 30. – Berlin; Heidelberg; N.Y.: Springer, 2001. – 501 p.
- Kolasa J., Rollo C.D.** Introduction: the heterogeneity of heterogeneity: a glossary // Ecological Heterogeneity / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett. – N.Y.: Springer Verlag, 1991. – P. 1-23.
- Kolmogoroff A.N.** Sulla theoria di Volterra della lotta per l'esistenza // Giornale dell' Inst. Italiano degli attuari. – 1936. – V. 7. – P. 74-80.
- Komarov A., Chertov O., Andrienko G. et al.** DESCARTES & EFIMOD: An integrated system for simulation modelling and exploration data analysis for decision support in sustainable forestry // Integrated Modelling and Assessment / Ed. by A. Rizzoli. – Norwell (Massachusetts): Kluwer Acad. Publ., 2002. – P. 239-244.
- Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L. et al.** EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems // Ecol. Modelling. – 2003. – V. 170. – P. 373-392.
- Kondratyev K.Ya.** Multidimensional Global Change. – Chechester: Wiley/Praxis, 1998. – 771 p.
- Kondratyev K.Ya., Ivlev L.S., Krapivin V.F., Varotsos C.A.** Atmospheric Aerosol Properties: Formation, Processes and Impacts. – Chechester: Springer/Praxis, 2005. – 572 p.
- Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., Phillips G.W.** Global Environmental Change: Modelling and Monitoring. – Heidelberg et al.: Springer, 2002. – 316 p.
- Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Degermendzhi N.N. et al.** Phytoplankton, bacterial production and protozoan bacterivory in stratified, brackish-water Lake Shira (Khakasia, Siberia) // Aquatic Ecol. – 2002. – V. 36, № 2. – P. 205-218.
- Kostitzin V.A.** Symbiose, Parasitisme et Évolution. (Étude Mathématique). – Paris: Hermann et Cie, 1934. – 40 p.
- Kot M.** Elements of Mathematical Ecology. – Cambridge (UK): Cambridge Univ. Press, 2001. – 453 p. (2nd corrected printing in 2003).
- Kozhova O.M., Silov E.A.** Principles and results of ecological monitoring of Lake Baikal // Partnerships for Sustainable Life in Lake Environments. – Otsu (Japan), 2001. – V. 5. – P. 532-536.
- Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J., Haukioja E.** Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // J. Appl. Ecol. – 1996. – V. 33. – P. 1489-1495.
- Kozlowski J., Konarzewski M.** Is West, Brown and Enquist's model of allometric scaling mathematically correct and biologically relevant? // Functional Ecol. – 2004. – V. 18. – P. 283-289.
- Kozlowski J., Konarzewski M., Gawelczyk A.T.** Cell size as a link between noncoding DNA and metabolic rate scaling // Proc. National Acad. of Sci. USA. – 2003. – V. 100. – P. 14080-14085.
- Krapivin V.F., Kelley J.J.** Model-based method for the assessment of global change in a nature/society system // Problems of Global Climatology and Ecodynamics: Anthropogenic Effects on the State of Planet Earth. – Chichester (UK): Springer/PRAXIS, 2008. – P. 267-289.
- Krebs C.J.** Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. 3rd Ed. – N.Y.: Harper and Row, 1985. – 800 p. (6th Ed. – Menlo Park [California]: Benjamin-Cummings Publ. Co., 2008. – 678 p.).
- Krebs C.J.** The Message of Ecology. – N.Y.: Harper and Row, 1988. – 195 p.
- Kubasova T.S., Loukianov A.M.** Modelling of soil organic matter dynamics after forest fires using ROMUL model // European Conference on Ecological Modelling. Proceedings: The

- Fifth European Conference on Ecological Modelling-ECEM. – Pushino: RAS, **2005**. – P. 102-103.
- Kuhn T.S.** The Structure of Scientific Revolutions. – Chicago: Univ. Press, **1962**. – 172 p. [рус. перевод: Кун Т. Структура научных революций. – М.: АСТ, **2003**. – 608 с.]
- Lake Baikal: Evolution and Biodiversity. 2nd ed. / Ed. Kozhova O.M., Izmet'seva L.R. – Leiden (The Netherlands): Backhaus Publ., **1998**. – 447 p.
- Lasch P., Badeck F.-W., Lindner M., Suckow F.** Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO₂ // Forstwiss Centralblatt. – **2002**. – V. 121, № 1. – P. 155-171.
- Laurie H., Perrier E.** A multi-fractal model for the species–area relationship. – **2006**. – 18 p. – www.mth.uct.ac.za/~henri/multfrac6par.pdf.
- Law A., Kelton W.** Simulation Modeling and Analysis / 2nd ed. – N.Y.: McGraw Hill, **1991**. – 800 p.
- Law R.** A model for the dynamics of a plant population containing individuals classified by age and size // Ecology. – **1983**. – V. 64. – P. 224-230.
- Lawton J.H.** Are there general laws in ecology? // Oikos. – **1999**. – V. 84. – P. 177-192.
- Lawton J.H.** Community Ecology in a Changing World. – Oldendorf (Germany); Ascot (UK): Ecol. Inst. Nordbunde, **2000**. – 227 p. (Excellence in Ecology Series, 11).
- Leeuwen C.G. van.** A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation // Wentia. – **1966**. – V. 15, № 1. – P. 25-46.
- Lefkovich L.P.** The study of population growth in organisms grouped by stages // Biometrics. – **1965**. – V. 21. – P. 1-18.
- Leigh G.** The ecological role of Volterra's equations // Some of Mathematical Problems of Biology. Proc. Sympos. Math. Soc. – Washington: Providence, **1968**. – P. 1-61.
- Leoni G., van Erp J.B.** Analog Computer Models for the Safety Evaluation of the Cart Fuel Test Facility. – Technical Report UNCL-CISE-R-259. – Milan (Italy): Centro Informazioni Studi Esperienze, **1967**. – 29 p.
- Leontief W.** Input-Output Economics. – N.Y.: Oxford Univ. Press, **1966**. – 257 p. [рус. перевод: Леонтьев В. Межотраслевая экономика. Серия Экономисты – лауреаты Нобелевской премии. – М.: Экономика, **1997**. – 479 с.]
- Leslie P.H.** On the use of matrices in certain population mathematics // Biometrika. – **1945**. – V. 33. – P. 183-212.
- Leslie P.H.** Some further notes on the use of matrices in population mathematics // Biometrika. – **1948**. – V. 35. – P. 213-245.
- Levich A.P.** What are the possible theoretical principles in the biology of communities? // Lectures in Theoretical Biology. – Tallinn: Valgus, **1988**. – P. 121-128.
- Levich A.P.** Toward a dynamic theory // Lectures in Theoretical Biology. V. 2. – Tallinn: Eston. Acad. Sci., **1993**. – P. 33-50.
- Levin S.A.** Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems // Ecosystems. – **1998**. – V. 1. – P. 431-436.
- Levins R.** The strategy of model building in population biology // Amer. Scientist. – **1966**. – V. 54. – P. 421-431.
- Levins R.** Evolution in Changing Environments. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **1968**. – 132 p.
- Levins R., Lewontin R.** Dialectics and reductionism in ecology // Conceptual Issues in Ecology / Ed. by E. Saarinen. – Dordrecht; Boston; London: Dordrecht Reidel Publ. Co., **1982**. – P. 107-138.

- Lewis E.G.** On the generation and growth of a population // *Sankhya*. – 1942. – V. 6, № 1. – P. 93-96.
- Li B.-L.** Editorial // *Ecol. Complexity*. – 2004. – V. 1. – P. 1-2.
- Li B.-L., Gorshkov V.G., Makarieva A.M.** Allometric scaling as an indicator of ecosystem state: a new approach // *Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security*. – London: Springer-Verlag, 2008. – P. 107-117.
- Li T.-Y., Yorke J.A.** Period three implies chaos // *Amer. Mathem. Monthly*. – 1975. – V. 82, № 10. – P. 985-992.
- Lindeman R.L.** The trophic-dynamic aspect of ecology // *Ecology*. – 1942. – V. 23. – № 4. – P. 399-418. [рус. перевод: Линдеман Р.Л. Трофико-динамическое направление в экологическом исследовании // *Успехи совр. биол.* – 1943. – Т. 16. – Вып. 5. – С. 552-570; см., также: *Антология экологии*. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. – С. 231-262].
- Lippman R.P.** An introduction to computing with neural nets // *IEEE ASSP Magazine*. – 1987. – V. 3. – P. 4-22.
- Liski J., Palosuo T., Peltoniemi M., Sievänen R.** Carbon and decomposition model Yasso for forest soils // *Ecol. Modelling*. – 2005. – V. 189, № 1-2. – P. 168-182.
- Loehle C.** Home range: a fractal approach. *Landscape Ecol.* – 1990. – V. 5. – P. 39-52.
- Loehle C.** Challenges of ecological complexity // *Ecol. Complexity*. – 2004. – V. 1. – P. 3-6.
- Loeuille N., Loreau M.** Evolution of body size in food webs: does the energetic equivalence rule hold? // *Ecol. Letters*. – 2006. – V. 9. – P. 171-178/
- Logofet D.O.** *Matrices and Graphs – Stability Problems in Mathematical Ecology*. – Boca Raton: CRC Press, 1993. – 308 p.
- Logofet D.O., Belova I.N.** Nonnegative matrices as a tool to model population dynamics: classical models and contemporary expansions // *J. Math. Sci.* – 2008. – V. 155, № 6. – P. 894-907.
- Lorenz E.N.** Deterministic nonperiodic flow // *J. Atmosph. Sci.* – 1963. – V. 20. – P. 130-141.
- Lorenz E.N.** *The Essence of Chaos*. – London: U.C.L. Press Ltd., 1993. – 240 p.
- Lotka A.J.** Contribution to the theory of periodic reactions // *J. Phys. Chem.* – 1910. – V. 14. – P. 271-274.
- Lotka A.J.** Undamped oscillations derived from the law of mass action // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1920. – V. 27. – P. 1595-1599.
- Lotka A.J.** Natural selection as a physical principle // *Proc. National Acad. of Sci. USA*. – 1922. – V. 8. – P. 151-154.
- Lotka A.J.** *Elements of Physical Biology*. – Baltimore: Williams & Wilkins Co., 1925. – 460 p.
- Ludwig D., Walker B.H., Holling C.S.** Models and metaphors of sustainability, stability, and resilience // *Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems*. – Washington (DC): Island Press, 2002. – P. 21-48.
- Lundberg G.A.** *Can Science Save Us?* – N.Y.: Longmans, Green & Co., 1947. – 123 p.
- Maarel E. van der, Westhoff V.** The vegetation of the dunes near Oostvoorne (The Netherlands) with a vegetation map // *Wentia*. – 1963. – V. 12, № 1. – P. 15-48.
- MacArthur R.H.** On the relation between reproductive value and optimal predation // *Proc. National Acad. of Sci. USA*. – 1960a. – V. 46. – P. 144-145.
- MacArthur R.H.** On the relative abundance of species // *Amer. Naturalist*. – 1960b. – V. 94. – P. 25-36.
- MacArthur R.H.** Patterns of species diversity // *Biol. Rev.* – 1965. – V. 40, № 4. – P. 510-533. [рус. перевод: Мак-Артур Р. Модели видового разнообразия // *Антология экологии / Состав. и коммент. Г.С. Розенберга*. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. – С. 297-330].

- MacArthur R.H.** Geographical Ecology. Pattern in the Distribution of Species. – N.Y.: Harper Row Publ., **1972**. – 269 p.
- MacArthur R.H., Connell J.W.** The Biology of Populations. – N.Y. et al.: John Wiley & Sons, Inc., **1966**. – 200 p.
- MacArthur R.H., Wilson E.O.** The Theory of Island Biogeography. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **1967**. – 203 p. [2nd ed. – Princ. Univ. Press, **2001**. – 203 p.].
- MacDonald N.** Simple aspects of foodweb complexity // J. Theor. Biol. – **1979**. – V. 80, № 4. – P. 577-588.
- MacDonald N.** Trees and Networks in Biological Models. – Chichester; N.Y.: John Wiley, **1983**. – 215 p.
- Madala H.R., Ivakhnenko A.G.** Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling. – London; Tokyo: CRC Press Inc., Boca Raton, **1994**. – 384 p.
- Magurran A.E.** Ecological Diversity and its Measurement. – Princeton (New Jersey): Univ. Press, **1988**. – 179 p. [рус. перевод: Мэгурран Э. Экологическое многообразие и его измерение. – М.: Мир, **1992**. – 184 с.].
- Magurran A.E., McGill B.J.** Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment – Oxford: Univ. Press, **2011**. – 368 p.
- Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Li B.-L.** Revising the distributive networks models of West, Brown and Enquist (1997) and Banavar, Maritan and Rinaldo (1999): Metabolic inequity of living tissues provides clues for the observed allometric scaling rules // J. Theor. Biol. – **2005**. – V. 237. – P. 291-301.
- Makela A., Valentine H.T.** The quarter-power scaling model does not imply size-invariant hydraulic resistance in plants // J. Theor. Biol. – **2006**. – V. 243. – P. 283-285.
- Makridakis S.G., Wheelwright S.C., McGee V.E.** Forecasting: Methods and Applications. 2nd ed. – N.Y.: John Wiley & Sons, **1983**. – 926 p.
- Mandelbrot B.** Les objets fractals: forme, hasard et dimension. – Paris: Flammarion, **1975**. – 192 p. (4 издания во Франции – **1975** [192 p.], **1984** [204 p.], **1989** [268 p.], **1995** [209 p.]; книга переведена на английский [1977], итальянский, испанский [1987], португальский [1991], баский [1992], болгарский [1996], румынский, китайский [1998], чешский языки [2003]).
- Mandelbrot B.** Fractals: Form, Chance and Dimension. – San Francisco (CA): W.H. Freeman and Co., **1977**. – 265 p.
- Mandelbrot B.** The Fractal Geometry of Nature. – N.Y.: W.H. Freeman and Co., **1982**. – 461 p. (книга переведена на японский [1984], немецкий [1987], испанский, [1997], китайский [1998], русский языки [2002]).
- Mandelbrot B.B.** Is nature fractal? // Science. – **1998**. – V. 279. – P. 783-784.
- Mandelbrot B.B.** Multifractals and 1/f Noise: Wild Self-Affinity in Physics. – N.Y.: Springer, **1999**. – 442 p.
- Mandelbrot B.B.** Fractals and Chaos: The Mandelbrot Set and Beyond. – N.Y.: Springer, **2004**. – 308 p. (книга переведена на русский язык [2009]).
- Mandelbrot B.B., Wallis J.R.** Noah, Joseph, and operational hydrology // Water Resources Res. – **1968**. – V. 4. – P. 909-918.
- Mann H.B., Whitney D.R.** On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // Ann. of Mathem. Statistics. – **1947**. – V. 18. – P. 50-60.
- Margalef R.** Information theory in biology // Trans. Soc. Gen. Syst. Res. – **1958a**. – V. 3. – P. 36-71.
- Margalef R.** Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton // Perspectives in Marine Biology. – Berkeley: Univ. California Press, **1958b**. – P. 323-347.

- Margalef R.** Perspectives in Ecological Theory. – Chicago: Univ. Chicago Press, **1968**. – 111 p.
- Margalef R.** Our Biosphere. – Oldendorf; Luhe: Ecol. Inst., 1997. – 176 p. (Ser. Excellence in Ecology).
- Mark D.M.** Fractal dimension of a coral reef at ecological scales: discussion // *Mar Ecol. Prog. Ser.* – **1984**. – V. 14. – P. 293-294.
- Marsili-Libelli S.** Fuzzy clustering of ecological data // *Coenoses*. – **1989**. – V. 4, № 2. – P. 95-106.
- Matthen M.P.** What sort of science is evolutionary biology? (Critical notice of Paul Thompson, *The Structure of Biological Theories*) // *Dialogue*. – **1991**. – V. 30, № 1. – P. 129-141.
- Maurer B.A., McGill B.J.** Non-neutral macroecology // *Basic and Appl. Ecol.* – **2004**. – V. 5. – P. 413-422.
- Maximov V.N., Bulgakov N.G., Levich A.P.** Quantitative methods of ecological control: Diagnostics, standardization, and prediction // *Environmental Indices: Systems Analysis Approach*. – London: EOLSS Publishers, **1999**. – P. 363-381.
- May R.M.** Stability and Complexity in Model Ecosystems. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **1973**. – 292 p.
- May R.M.** Biological populations with non-overlapping generations: stable points, stable cycles and chaos // *Science*. – **1974**. – V. 186. – P. 645-647.
- May R.M.** Biological population obeying difference equations: stable points, stable cycles and chaos // *J. Theor. Biol.* – **1975**. – V. 51, № 2. – P. 511-524.
- May R.M.** Simple mathematical models with very complicated dynamics // *Nature*. – **1976**. – V. 261. – P. 459-467. – http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Sept01/May/May_contents.html.
- May R.M.** The search for patterns in the balance of nature: advances and retreats (The Robert H. MacArthur Award Lecture, 19 June 1985, Minneapolis, Minnesota) // *Ecology*. – **1986**. – V. 67, № 5. – P. 1116-1126.
- Maynard Smith J.** Models in Ecology. – Cambridge: Univ. Press, **1974**. – 146 p. [рус. перевод: Смит Дж. Модели в экологии. – М.: Мир, **1976**. – 184 с.].
- Mazalov V.V., Rettieva A.N.** A fishery game model with age distributed population: reserved territory approach // *Game Theory and Applications*. – **2003**. – V. 9. – P. 56-72.
- Mazalov V.V., Rettieva A.N.** A fishery game model with migration: reserved territory approach // *Game Theory and Applications*. – **2004**. – V. 10. – P. 97-108.
- Mazalov V.V., Rettieva A.N.** Bioresource management problem with changing area for fishery // *Game Theory and Applications*. – **2008**. – V. 13. – P. 101-110.
- Mazalov V.V., Rettieva A.N.** Fish wars and cooperation maintenance // *Ecol. Modelling*. – **2010**. – V. 221. – P. 1545-1553.
- McGill B.J.** A test of the unified neutral theory of biodiversity // *Nature*. – **2003a**. – V. 422. – P. 881-885.
- McGill B.J.** Does Mother Nature really prefer rare species or are log-leftskewed SADs a sampling artifact? // *Ecology Letters*. – **2003b**. – V. 6. – P. 766-773.
- McGill B.J.** Strong and weak tests of macroecological theory // *Oikos*. – **2003c**. – V. 102, № 3. – P. 679-685.
- McGill B.J., Etienne R.S., Gray J.S. et al.** Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework // *Ecol. Letters*. – **2007**. – V. 10, № 10. – P. 995-1015.
- McGill B.J., Maurer B.A., Weiser M.D.** Empirical evaluation of neutral theory // *Ecology*. – **2006**. – V. 87, № 6. – P. 1411-1423.

- McIntosh R.** A continuum concept of vegetation: reply // *Bot. Rev.* – **1968.** – V. 34, № 3. – P. 253-332.
- McIntosh R.** Plant ecology, 1947-1972 // *Ann. Mo. Bot. Gard.* – **1974.** – V. 61, № 1. – P. 132-165.
- McIntosh R.P.** H.A. Gleason – «individualistic ecologist». 1882-1975: His contribution to ecological theory // *Bull. of the Torrey Bot. Club.* – **1975.** – V. 102. – P. 253-273.
- McIntosh R.** *The Background of Ecology. Concept and Theory.* – L.: Cambridge Univ. Press, **1985.** – 383 p.
- McIntosh R.** Concept and terminology of homogeneity in ecology // *Ecological Heterogeneity* / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett. – N.Y.: Springer Verlag, **1991.** – P. 24-46.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W.** The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. N.Y.: Universe Books, **1972.** – 205 p. [рус. перевод: Меадоуз Д. и др. Пределы роста. Доклад по проекту Римского клуба "Сложное положение человечества". – М.: МГУ, **1991.** – 206 с.].
- Mealy G.H.** A method for synthesizing sequential circuits // *Bell System Tech. J.* – **1955.** – V. 34. – P. 1045-1079.
- Mealy G.H.** Another look at data base // *Proc. AFIPS.* – Montvale (NJ): AFIPS Press, **1967.** – V. 31. – P. 525-534.
- Meehan T.D.** Mass and temperature dependence of metabolic rate in litter and soil invertebrates // *Physiological and Biochemical Zool.* – **2006.** – V. 79, № 5. – P. 878-884.
- Melbourne B.A., Cornell H.V., Davies K.F. et al.** Invasion in a heterogeneous world: resistance, coexistence or hostile takeover? // *Ecol. Lett.* – **2007.** – V. 10. – P. 77-94.
- Mendelsohn R.** Optimization problems associated with a Leslie matrix // *Amer. Naturalist.* – **1976.** – V. 110, № 973. – P. 339-349.
- Menhinick E.F.** A comparison of some species diversity indices applied to samples of field insects // *Ecology.* – **1964.** – V. 45. – P. 859-861.
- Menhinick E.F.** *The Freshwater Fishes of North Carolina.* – Bethania (NC): North Carolina Wildlife Resources Commission, **1991.** – 227 p.
- Metropolis N., Stein M.L., Stein P.R.** On finite limit sets for transformations on the unit interval // *J. Combin. Theory.* – **1973.** – V. 15. – P. 25-44.
- Meyn S.V.** On the structure of theoretical biology // *Lectures in Theoretical Biology.* – Tallinn: Valgus, **1988.** – P. 15-21.
- Meyer K.** Energy functions for Morse-Smale systems // *Amer. J. Math.* – **1968.** – V. 90, № 4. – P. 1031-1040.
- Mills F.C.** *Statistical Methods* / 3rd ed. – N.Y.: Henry Holt & Company, **1955.** – 842 p.
- Milne B.T.** The utility of fractal geometry in landscape design // *Landscape Ecol.* – **1991.** – V. 21. – P. 81-90.
- Milne B.T.** Applications of fractal geometry on wildlife biology // *Wildlife and Landscape Ecology* / Ed. J.A. Bissonette. – N.Y.: Springer, **1997.** – P. 32-69.
- Miramontes O., Rohani P.** Intrinsically generated colored noise in laboratory insect populations // *Proc. R. Soc. Lond.* – **1998.** – Ser. B, V. 265. – P. 785-792.
- Mirkin B.M.** Which plant communities do exist? // *J. Veget. Sci.* – **1994.** – V. 5. – P. 283-284.
- Mitchell R., Mayer R.A., Downhower J.** An evaluation of three Biome programs // *Science.* – **1976.** – V. 192, № 4242. – P. 859-865.
- Modellierung pflanzlicher Systeme aus historischer und aktueller Sicht / Symposium zu Ehren von Prof. Dr. Dr. h. c. Eilhard Alfred Mitscherlich. – Potsdam; Frankfurt (Oder): Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, **2006.** – 73 S.

- Moen R., Pastor J., Cohen Y.** A spatially explicit model of moose foraging and energetics // *Ecology*. – 1997. – V. 78. – P. 505-521.
- Moiseev N.N.** Man, Nature and the Future of Civilization: "Nuclear Winter" and the Problem of a "Permissible Threshold". – M.: Novosti Press Agency Pub. House, 1986. – 92 p.
- Mole P.** Ockham's Razor Cuts Both Ways: the Uses and Abuses of Simplicity in Scientific Theories. – Altadena (CA): Skeptics Society & Skeptic Magazine, 2003. – 40 p.
- Molofsky J., Bever J.D.** 2004. A new kind of ecology? // *BioScience*. – 2004. – V. 54. – P. 440-446.
- Montgomery D.C., Johnson L.A., Gardiner J.S.** Forecasting and Time Series Analysis / 2nd ed. – N.Y.: McGraw-Hill Inc., 1990. – 381 p.
- Moraczewski I.R.** Fuzzy logic for phytosociology. I. Syntaxa as vague concepts // *Vegetatio*. – 1993. – V. 106. – P. 1-11.
- Morin P.J.** Community Ecology. – Malden (MA) et al.: Blackwell Sci. Inc., 2006. – 424 p.
- Mosimanegape I.M.** Leslie Matrix Model in Population Dynamics. – Cape Town (South Africa): African Inst. for Mathem. Sci., 2007. – 35 p.
- Murray B.G.** Universal laws and predictive theory in ecology and evolution // *Oikos*. – 2000. – V. 89. – P. 403-408.
- Murray J.D.** Mathematical Biology / 2nd ed. – Berlin et al.: Springer-Verlag, 1993. – 767 p. (Ser. Biomathematics. V. 19).
- Murray J.D.** Mathematical Biology / 3rd ed. in 2 vol. – N.Y. et al.: Springer-Verlag. – V. I. An Introduction. 2002. – 551 p.; V. II. Spatial Models and Biomedical Applications. 2003. – 811 p. (Ser. Interdisciplinary Applied Mathematics).
- Murray J.L.S., Jumars P.A.** Clonal fitness of attached bacteria predicted by analog modeling // *BioScience*. – 2002. – V. 52, № 4. – P. 343-355.
- Nabi I.** An evolutionary interpretation of the English sonnet (First annual Piltdown Lecture on Man and Nature) // *Science and Nature*. – 1980. – № 3. – P. 70-74.
- Nabi I.** On the tendencies of motion // *Science and Nature*. – 1981a. – № 4. – P. 62-66. – Reprinted in: *The Dialectical Biologist* / Ed by Levins R., Lewontin R. – Cambridge (MA): Harvard Univ. Press, 1985. – P. 123-127.
- Nabi I.** Ethics of genes // *Nature*. – 1981b. – V. 290. – P. 183.
- Nakano S.** Individual differences in resource use, growth and emigration under the influence of a dominance hierarchy in fluvial red-spotted masu salmon in a natural habitat // *J. Anim. Ecol.* – 1995. – V. 64. – P. 75-84.
- Nalimov V.V.** Realms of Unconscious: The Enchanted Frontiers. – Philadelphia: ISI Press, 1982. – 320 p.
- Nalimov V.V.** Space, Time and Life. The Probabilistic Pathways of Evolution. – Philadelphia: ISI Press, 1985. – 112 p.
- Nicholson A.J.** The balance of animal populations // *J. Anim. Ecol.* – 1933. – V. 2. – P. 131-178.
- Nicholson A.J.** Compensatory reactions of populations to stresses, and their evolutionary significance // *Austral. J. Zool.* – 1954. – V. 2. – P. 1-8.
- Nickolaenko A.P., Price C., Iudin D.I.** Hurst exponent derived for natural terrestrial radio noise in Schumann resonance band // *Geophys. Res. Lett.* – 2000. – V. 27. – P. 3185-3188.
- Nicolson C.R., Starfield A.M., Kofinas G.P., Kruse J.A.** Ten heuristics for interdisciplinary modeling projects // *Ecosystems*. – 2002. – V. 5. – P. 376-384.
- Noy-Meir I.** Stability of grazing systems: an application of predator-prey graphs // *J. Ecol.* – 1975. – V. 63, № 2. – P. 459-481.
- Nyholm N.** A simulation model for phytoplankton growth and nutrient cycling in eutrophic, Shallow Lakes // *J. Ecol. Modelling*. – 1978. – V. 4. – P. 279-310.

- Odeh I.O.A., McBratney A.B., Chittleborough D.J.** Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: application to classification and soil-landform interrelationship // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – **1992**. – V. 56. – P. 505-516.
- Odum H.T.** Environment, Power and Society. – N.Y. et al.: John Wiley & Sons, **1971**. – 331 p.
- Odum H.T.** Energy, ecology and economics // *Ambio*. – **1973**. – V. 2, № 6. – P. 220-227.
- Odum H.T.** System Ecology: an Introduction. – N.Y. et al.: John Wiley & Sons, **1983**. – 644 p.
- Odum H.T.** Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., **1996**. – 384 p.
- Odum H.T.** Environment, Power and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy. – N.Y.: Columbia Univ. Press, **2007**. – 432 p.
- Odum H.T., Pinkerton R.C.** Time's speed regulator: The optimum efficiency for maximum output in physical and biological systems // *Scientific American*. – **1955**. – V. 43. – P. 331-343.
- Oksanen L.** Logic of experiments in ecology: is pseudoreplication a pseudoissue? // *Oikos*. – **2001**. – V. 94. – P. 27-38.
- Okubo A.** Diffusion and Ecological Problems: Mathematical Models. – Berlin: Springer-Verlag, **1980**. – 254 p. (Biomathematics. – V. 10).
- Olson J.S.** Analog computer models for movement of nuclides through ecosystems // *Radioecology* / Ed. by V. Schultz, A. W. Klements. – Cincinnati (Ohio, USA): Van Nostrand Reinhold Publ., **1963**. – P. 121-125.
- Olson M.H., Watkinson A., Mackenzie A. et al.** Intuition and the logistic equation // *Trends in Ecology & Evolution (TREE)*. – **1992**. – V. 7, № 9. – P. 314.
- Orlóci L.** Multivariate Analysis in Vegetation Research. – The Hague: Dr. W. Junk B.V. Publ., **1975**. – 276 p. [2nd ed., 1978. – 451 p.]
- Pacala S.W., Canham C.D., Silander J.A. Jr.** Forest models defined by field measurements: I. The design of a northeastern forest simulator // *Can. J. For. Res.* – **1993**. – V. 23, № 10. – P. 1980-1988.
- Pacala S.W., Deutschman D.H.** Details that matter: the spatial distribution of individual trees maintains forest ecosystem function // *Oikos*. – **1995**. – V. 74. – P. 357-365.
- Pace M.L.** Prediction and the aquatic sciences // *Canad. J. of Fish. and Aquatic Sci.* – **2001**. – V. 58. – P. 63-72.
- Pachepsky Y.A., Giménez D., Crawford J.W., Rawls W.J.** Conventional and fractal geometry in soil science // *Fractals in Soil Science* / Ed. by Pachepsky Ya., Crawford J., Rawls W. – Amsterdam; N.Y.: Elsevier, **2000a**. – P. 7-18.
- Pachepsky Y.A., Giménez D., Crawford J.W., Rawls W.J.** Bibliography on applications of fractals in soil science // *Fractals in Soil Science* / Ed. by Pachepsky Ya., Crawford J., Rawls W. – Amsterdam; N.Y.: Elsevier, **2000b**. – P. 273-295.
- Pachepsky Y.A., Ritchie J.C.** Seasonal changes in fractal landscape surface roughness estimated from airborne laser altimetry data // *Int. J. Remote Sensing*. – **1998**. – V. 19. – P. 2509-2516.
- Pachepsky Y.A., Timlin D.** Water transport in soils as in fractal media // *J. Hydrology*. – **1998**. – V. 204, № 1. – P. 98-107.
- Palmer A.R.** Waltzing with asymmetry: is fluctuating asymmetry a powerful new tool for biologists or just an alluring new dance step? // *BioScience*. – **1996**. – V. 46, № 7. – P. 518-532.
- Palmer A.R., Strobeck C.** Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // *Ann. Rev. of Ecol. and Systematics*. – **1986**. – V. 17. – P. 391-421.

- Palmer A.R., Strobeck C.** Fluctuating Asymmetry Analyses Revisited. – Edmonton (Alberta, Canada): Univ. Alberta, **2001**. – 77 p. – [http://www.biology.ualberta.ca/palmer.hp/pubs/03BookChapt/Palmer StrobeckChapt.pdf](http://www.biology.ualberta.ca/palmer.hp/pubs/03BookChapt/Palmer%20StrobeckChapt.pdf) (Development Instability. Causes and Consequences / Ed. by M. Polak. – Oxford [United Kingdom]: Oxford Univ. Press, **2003**. – P. 279-319).
- Parr A.E.** A contribution to the theoretical analysis of the schooling behavior of fishes // Occass. Papers Bingham Oceanographic Collec. – **1927**. – № 1. – p. 1–32.
- Partridge B.L., Pitcer T.J.** The sensory basis of fish schools // J. Compar. Physiol. – **1980**. – V. 135. – P. 315-325.
- Patten B.C.** A primer for ecological modeling and simulation with analog digital computers. // System Analysis and Simulation in Ecology. V. 1 / Ed. by B. Patten. – N.Y.: Academic Press, **1971**. – P. 4-21.
- Patten B.C.** A simulation of the short grass prairie ecosystem // Simulation. – **1972**. – V. 19, № 6. – P. 177-186.
- Patton D.R.** A diversity index for quantifying habitat «edge» // Wildlife Soc. Bull. – **1975**. – V. 3, № 4. – P. 171-173.
- Pearl R.** The Biology of Population Growth. – N.Y.: Alfred A. Knopf, **1925**. – 260 p.
- Pearl R.** Introduction to Medical Biometry and Statistics / 2nd ed. – Philadelphia (PA): W.B. Saunders Co., **1930**. – 537 p.
- Pearl R., Reed L.J.** On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation // Proc. National Acad. of Sci. USA. – **1920**. – V. 6. – P. 275-288.
- Peierls R.** Model-making in physics // Contemp. Phys. – **1980**. – V. 21, № 1. – P. 3-17.
- Pennington L.A., Meehan T.D.** Influence of body size and environmental temperature on carbon dioxide production by forest centipedes from Southwestern North America // Environmental Entomology. – **2007**. – V. 36, № 4. – P. 673-680.
- Peters R.H.** The Ecological Implications of Body Size. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, **1983**. – 329 p.
- Peters R.H.** A Critique for Ecology. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, **1991**. – 384 p.
- Pianka E.R.** Сайт: www.zo.utexas.edu/faculty/pianka/eric.html. – URL.
- Pickett S.T.A., Collins S.L., Armesto J.T.** Models, mechanism and pathways of succession // Bot. Rev. – **1987**. – V. 53, № 3. – P. 335-371.
- Pielou E.C.** The concept of randomness in the patterns on mosaics // Biometrics. – **1965**. – V. 21, № 4. – P. 908-920.
- Pielou E.C.** An Introduction to Mathematical Ecology. – N.Y.: Wiley-Intersci. Publ., **1969**. – 286 p.
- Pielou E.C.** Population and Community Ecology: Principles and Methods. – N.Y.: Gordon and Breach, **1974**. – 424 p.
- Pielou E.C.** Mathematical Ecology. – N.Y. et al.: John Wiley & Sons, Ltd, **1977**. – 385 p.
- Pielou E.C.** The usefulness of ecological models: a stock-taking // Q. Rev. Biol. – **1981**. – V. 56. – P. 17-31.
- Plant Contamination. Modeling and Simulation of Organic Chemical Processes / Ed. by Trapp S. & Mc Farlane J.C. – Boca Raton (Florida): Lewis Pub., **1995**. – 272 p.
- Polhill G.J., Parker D.C., Brown D.G., Grimm V.** Using the ODD protocol for describing three agent-based social simulation models of land use change // J. of Artificial Societies and Social Simulation. – **2008**. – V. 11, № 2/3. – <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/2/3.html>.
- Polishchuk L.V.** Conservation priorities for Russian mammals // Science. – **2002**. V. 297. – P. 1123.

- Pool R.** Periodic, pseudoperiodic and chaotic population fluctuations // *Ecology*. – 1977. – V. 58, № 1. – P. 210-213.
- Pool R.** Is it healthy to be chaotic? // *Science*. – 1989. – V. 243, № 4891. – P. 604-607.
- Post H.R.** Simplicity in scientific theories // *British J. Philosophy of Sci.* – 1960. – V. 11, № 41. – P. 32-41.
- Post W.M., Emanuel W.R., Zinke P.J., Stangenberger A.G.** Soil carbon pools and world life zones // *Nature*. – 1982. – V. 298. – P. 156-159.
- Pounds J.A., Puschendorf R.** Clouded futures // *Nature*. – 2004. – V. 427. – P. 107-109.
- Preston F.W.** The canonical distribution of commonness and rarity // *Ecology*. – 1962. – V. 43, № 2. – P. 185-215.
- Proctor J.D., Larson B.M.H.** Ecology, complexity and metaphor // *BioScience*. – 2005. – V. 55, № 12. – P. 1065-1068.
- Pugh A.L. III.** DYNAMO. User's Manual. – Cambridge (MA); L.: MIT Press, 1970. – 73 p.
- Pykh Yu.A., Malkina-Pykh I.G.** The Method of Response Function in Ecology. – Southampton; Boston (UK): WIT Press, 2000. – 288 p. (Ser. Ecology. V. 7).
- Qian Wang, Meng Fan, Ke Wang.** Dynamics of a class of nonautonomous semi-ratio-dependent predator-prey systems with functional responses // *J. Math. Anal. Appl.* – 2003. – V. 278. – P. 443-471.
- Quetelet A., Verhulst P.F.** *Annuaire de l'Académie royale des sciences de Belgique*. – 1850. – V. 16. – S. 97-124.
- Quinn T.J., Deriso R.B.** *Quantitative Fish Dynamics*. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1999. – 560 p. [Biological Resource Management Series].
- Railsback S.F., Lytinen S.L., Jackson S.K.** Agent-based simulation platforms: review and development recommendations // *Simulation*. – 2006. – V. 82, № 9. – P. 609-623. – <http://www.humboldt.edu/~ecomodel/documents/ABMPlatformReview.pdf>.
- Rashevsky N.** *Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology*. – Chicago: Univ. Press, 1938. – 340 p.
- Rechenberg I.** *Evolutionstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. – Stuttgart: Fromman-Holzboog Verlag, 1973. – 170. (2nd ed. – 1993).
- Redetzke K.A., Van Dyne G.M.** A matrix model of a rangeland grazing system // *J. Range Manag.* – 1976. – V. 29, № 5. – P. 425-430.
- Redfield A.C.** On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton // *James Johnstone Memorial Volume / Ed. Daniel R.J.* – Liverpool (UK): Univ. Press, 1934. – P. 176-192.
- Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A.** The influence of organisms on the composition of seawater // *The Sea / Ed. M.N. Hill.* – N.Y.: Wiley Intersci., 1963. – V. 2. – P. 26-79.
- Renshaw E.** *Modelling Biological Populations in Space and Time*. – N.Y.: Cambridge Univ. Press, 1991. – 350 p. (Cambridge Studies in Mathematical Biology).
- Rescigno A., Richardson I.W.** On the competitive exclusion principle // *Bull. Math. Biophysics*. – 1965. – V. 27. – P. 85-89.
- Resnick M.** *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds (Complex Adaptive Systems)*. – Cambridge (MA): MIT Press, 1997. – 181 p.
- Resnick M., Wilensky U.** Diving into complexity: developing probabilistic decentralized thinking through role-playing activities // *J. of the Learning Sciences*. – 1998. – V. 7, № 2. – P. 153-171.
- Richards F.J.** A flexible growth function for empirical use // *J. Exp. Bot.* – 1959. – V. 10. – P. 290-300.

- Richardson G.P., Pugh A.L., III.** Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO. – Waltham (MA): Pegasus Communications, **1981**. – 413 p.
- Ricker W.E.** Stock and recruitment // *J. Fish. Res. Board Can.* – **1954**. – V. 11. – P. 559-623.
- Robock A., Oman L., Stenchikov G.L.** Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences // *J. Geophys. Res.* – **2007a**. – V. 112. – D13107. – <http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2006JD008235.shtml> [рус. перевод: Робок А. и др. Ядерная зима в современной модели климата при существующих ядерных арсеналах: последствия по-прежнему катастрофичны. – www.armscontrol.ru/pubs/nuclear-winter-revisited.pdf].
- Robock A., Oman L., Stenchikov G.L. et al.** Climatic consequences of regional nuclear conflicts // *Atm. Chem. Phys.* – **2007b**. – V. 7. – P. 2003-2012.
- Rogova T.V., Chizhikova N.A., Lyubina O.E. et al.** Spatial modelling of forest community features in the Volzhsko-Kamsky reserve // *Analyzing Ecological Data (Statistics for Biology and Health)*. – Berlin et al.: Springer, **2007**. – P. 633-646.
- Rosenberg A.** Instrumental Biology, or the Disunity of Science. – Chicago: Univ. of Chicago Press, **1994**. – 204 p.
- Rosenberg A.** Darwinian Reductionism, or How to Stop Worrying and Love Molecular Biology. – Chicago: Univ. of Chicago Press, **2006**. – 272 p.
- Rosenzweig M., MacArthur R.H.** Graphical representation of stability conditions of predator-prey interactions // *Amer. Naturalist*. – **1963**. – V. 97. – P. 209-223.
- Rozenberg G.S., Krestin S.V.** System of analytical models of processes of eutrophication in the reservoir (block approach) // *Programme and Abstracts. 3rd Internat. Conf. on Reservoir Limnology and Water Quality*. – České Budějovice (Czech Republic), **1997**. – P. 151.
- Rozenberg G.S., Shitikov V.K.** Expert system "REGION" as instrument of simulation of a large-scale ecosystems and reservoirs // *Экологические проблемы бассейнов крупных рек: Тез. докл. Междунар. конф.* – Тольятти: ИЭВБ РАН, **1993**. – С. 264.
- Rozenberg G.S., Shitikov V.K., Morozov V.G.** Expert systems "RESERVOIR": methodology, methods and results // *Programme and Abstracts. 3rd Internat. Conf. on Reservoir Limnology and Water Quality*. – České Budějovice (Czech Republic), **1997**. – P. 152.
- Rozenblueth A., Wiener N., Bigelow J.** Behaviour, purpose and teleology // *Phil. Science*. – **1943**. – V. 10, № 1. – P. 18-24.
- Rübel E.A.** The replicability of ecological factors and the law of minimum // *Ecology*. – **1935**. – V. 16. – P. 336-341.
- Ruelle D., Takens F.** On the nature of turbulence // *Commun. Math. Phys.* – **1971**. – V. 20. – P. 167-192.
- Salski A.** Fuzzy knowledge-based models in ecological research // *Ecol. Modelling*. – **1992**. – V. 63. – P. 103-112.
- Salski A.** Fuzzy logic approach to data analysis and ecological modelling // *Proc. of EUFIT99*. – Aachen (Germany): Springer, **1999**. – http://www.erudit.de/erudit/events/esit99/12571_p.pdf.
- Salski A., Kandzia P.** Modelling support system for ecological application based on fuzzy logic // *Uncertainty in Intelligent Systems / Ed. by Bouchon-Meunier B. et. al.* – Saint Louis (Missouri, USA); Amsterdam (North-Holland): Springer, **1993**. – P. 269-275.
- Salski A., Kandzia P.** Fuzzy sets and fuzzy logic in ecological modelling // *EcoSys*. – **1996**. – Bd. 4. – P. 85-98.
- Saltelli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M.** Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models. – N.Y.: John Wiley and Sons, **2004**. – 232 p.

- Sauer R.H.** A simulation model for grassland primary producer, phenology and biomass dynamics // *Grassland Simulation Model* / Ed. by Innis G.S. – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – P. 55-87.
- Savage V.M., Enquist B.J., West G.B.** Comment on "A critical understanding of the fractal model of metabolic scaling" // *J. Exp. Biol.* – **2007**. – V. 210, № 21. – P. 3873-3874.
- Savage V.M., Gillooly J.F., Woodruff W.H. et al.** The predominance of quarter-power scaling in biology // *Functional Ecol.* – **2004**. – V. 18. – P. 257-282.
- Saveliev A.A., Mukharamova S.S., Zuur A.F.** Analysis and modelling of lattice data // *Analyzing Ecological Data (Statistics for Biology and Health)*. – Berlin et al.: Springer, **2007a**. – P. 321-338.
- Saveliev A.A., Mukharamova S.S., Chizhikova N.A. et al.** Spatially continuous data analysis and modelling // *Analyzing Ecological Data (Statistics for Biology and Health)*. – Berlin et al.: Springer, **2007b**. – P. 341-363.
- Schaffer W.M., Ellner S., Kot M.** Effects of noise on some dynamical models in ecology // *J. Math. Biol.* – **1986**. – V. 24. – P. 479-523.
- Schieritz N., Milling P.** Modeling the forest or modeling the trees – a comparison of system dynamics and agent-based simulation // *The 21st International Conference of the System Dynamics Society*. – N.Y.: System Dynamics Society, **2003**. – 15 p. – <http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Forschung/pr/sd03/p-na.pdf>.
- Schneider D.C.** *Quantitative Ecology: Spatial and Temporal Scaling*. – San Diego (CA): Acad. Press, **1994**. – 395 p.
- Schneider D.C.** *Applied scaling theory // Ecological Scale. Theory and Applications*. – N.Y.: Columbia Univ. Press, **1998**. – P. 253-269.
- Schneider D.C.** *Quantitative Ecology: Measurement, Models, and Scaling*. 2nd Ed. – L.; San Diego (CA): Elsevier Inc., **2009**. – 432 p.
- Schreiberg M.M., Miles G.E., Holt D.A., Bula R.J.** Sensitivity analysis of SIMED // *Agron. J.* – **1978**. – V. 70, № 1. – P. 105-108.
- Schwartz J.** The pernicious influence of mathematics on science // *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proc. 1960 Inter. Cong.* / Ed. by E. Nagel et al. – Stanford: Univ. Press, **1962**. – P. 356-360.
- Schwefel H.-P.** *Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie: mit einer vergleichenden Einführung in die Hill-Climbing und Zufallsstrategie*. – Basel (Switzerland): Birkhaeuser Verlag, **1977**. – 390 p.
- Scienceman D.M.** Energy and emergy // *Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface* / Ed. by G. Pillet, T. Murota. – Geneva: R. Leimgruber, **1987**. – P. 257-276.
- Scienceman D.M.** Letters to the Editor: Emergy definition // *Ecol. Engineering*. – **1997**. – V. 9. – P. 209-212.
- Self-organizing Methods in Modeling: GMDH Type Algorithms* / Ed. by S.J. Farlow. – N.Y.; Basel: Marcel Decker Inc., **1984**. – 350 p. (Statistics: Textbooks and Monographs, V. 54).
- Seligman N.G.** A critical appraisal of some grassland models // *Critical Evaluation of systems Analysis in Ecosystems Research and Management*. – Wageningen: Centre for Agricult. Publ. and Document., **1976**. – P. 60-97.
- Shannon C.** Mathematical theory of communication // *Bell System Technical Journal*. – **1948**. – V. 27. – P. 379-423, 623-656.
- Shannon R.E.** *Systems Simulation: The Art and Science*. – N.Y.: Prentice Hall, **1975**. – 368 p.
- Shannon R.E.** Introduction to the art and science of simulation // *Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference (WSC '98)*, December 13-16, 1998. – Washington (DC): ACM, **1998**. – P. 7-14.

- Shapiro A.P., Frisman E.Y., Skaletskaya E.I.** Modelling dynamics and optimal exploitation of the population of the deer *Cervus nippon* // Ecol. Modelling. – 1984. – V. 26. – P. 41-44.
- Shaw C., Chertov O., Komarov A. et al.** Application of the forest ecosystem model EFIMOD 2 to jack pine along the Boreal Forest Transect Case Study // Canad. J. Soil Sci. – 2006. – V. 86, № 2 – P. 171-185.
- Sheppard C.W.** The theory of the study of transfer within a multicompartiment system using isotropic tracers // J. Appl. Physiol. – 1948. – V. 19. – P. 70-76.
- Shugart H.H.** Terrestrial Ecosystems in Changing Environments. – Cambridge (UK): Cambridge Univ. Press, 1998. – 551 p. (Ser. Cambridge Studies in Ecology).
- Shugart H.H., Hett J.M.** Succession: similarities of species turnover rates // Science. – 1973. – V. 180, № 4093. – P. 1379-1381.
- Shugart H.H., West D.C.** Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the Chestnut Blight // J. Environ. Manag. – 1977. – V. 5. – P. 161-179.
- Silov E.A.** The use of two lumped models for the analysis of consequences of external influences on the lake Baikal ecosystem // Ecol. Modelling. – 1999. – V. 121. – P. 103-113.
- Silov E.A., Oh I.H.** Exergy: Preliminary results of a experimental laboratory verification of its applicability in applied ecology // J. Natural Sci. – 2002. – V. 12. – P. 61-67.
- Silov E.A., Oh I.H.** Aquatic ecosystem assessment using exergy // Ecol. Indicators. – 2004. – V. 4. – P. 189-198.
- Silva J.F., Raventos J., Caswell H.** Population responses to fire in a tropical savanna grass *Andropogon semiberis*: A matrix model approach // J. Ecol. – 1991. – V. 79. – P. 345-356.
- Simberloff D.** A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism // Synthese (Springer Netherlands). – 1980. – V. 43, № 1. – P. 3-39.
- Simberloff D.** The sick science of ecology: symptoms, diagnosis and prescription // Eidema. – 1981. – V. 1. – P. 49-54.
- Simpson E.H.** Measurement of diversity // Nature. – 1949. – V. 163. – P. 688. [рус. перевод: Симпсон Э.Х. Измерение разнообразия / Пер. с англ. Г.С. Розенберга // Самарская Лука: Бюл. – 2007. – Т. 17, № 3(21). – С. 585-587].
- Slutsky E.** Ueber stochastische Asymptoten und Grenzwerte // Metron (Padova). – 1925. – V. 5, № 3. – P. 3-89.
- Smit P.** The zoological dissertations of Linnaeus // Svenska Linnésällskapets Årsskrift for 1978. – 1979. – P. 118-136.
- Smith N.F., Street D.J.** The use of Balanced Incomplete Block designs in designing randomized response surveys // Austral. & New Zealand J. Statist. – 2003. – V. 45, № 6. – P. 181-194.
- Sokal R.R., Rohlf F.J.** Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. – N.Y.: Freeman, 1981. – 887 p.
- Sokal R.R., Sneath P.H.A.** Principles of Numerical Taxonomy. – San Francisco; L.: Freeman, 1963. – 359 p.
- Souissi S., Ginot V., Seuront L., Shin-Ichi Uy.** Using MultiAgent systems to develop individual-based models for Copepods: consequences of individual behavior and spatial heterogeneity on the emerging properties at the population scale // Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology / Ed. by Seuront L., Strutton P.G. – Boca Raton: CRC Press, 2003. – P. 523-542.
- Starfield A.M.** Qualitative, rule-based modeling // BioScience. – 1990. – V. 40. – P. 601-604.
- Starfield A.M.** A pragmatic approach to modeling for wildlife management // J. Wildl. Manage. – 1997. – V. 61. – P. 261-270.

- Starfield A.M., Bleloch A.L.** Expert systems. An approach to problems in ecological management that are difficult to quantify // *J. Environ. Manage.* – **1983**. – V. 16, № 3. – P. 261-268.
- Starfield A.M., Bleloch A.L.** Building Models for Conservation and Wildlife Management. – N.Y.: MacMillan; London: Collier Macmillan, **1986**. – 253 p. (Ser. Biological Resource Management; 2nd ed. Edina (MN): Burgess, 1991. – 253 p.).
- Starfield A.M., Farm B.P., Taylor R.H.** A rule-based ecological model for the management of an estuarine lake // *Ecol. Modelling.* – **1989**. – V. 46. – P. 107-119.
- Starfield A.M., Owen-Smith N., Bleloch A.L.** A rule-based population model for adaptive management // *S. Afr. J. Wildl. Res.* – **1985**. – V. 15, № 2. – P. 59-62.
- Starfield A.M., Roth J.D., Ralls K.** "Mobbing" in Hawaiian monk seals: the value of simulation modeling in the absence of apparently crucial data // *Conserv. Biol.* – **1995**. – V. 9, № 1. – P. 166-174.
- Starfield A.M., Smith K.A., Bleloch A.L.** How to Model it: Problem Solving for the Computer Age. – N.Y.: McGraw-Hill, **1990**. – 206 p.
- Stauffer D., Aharony A.** Introduction to Percolation Theory. – London: Taylor & Francis, **1992**. – 91 p.
- Steiguer J.E. de.** The Age of Environmentalism. – Boston (USA): WCB/McGraw-Hill, **1997**. – 202 p.
- Steinhorst R.K.** Parameter identifiability, validation, and sensitivity analysis of large system models // *Systems Analysis of Ecosystems / Ed. Innis G.S., O'Neill R.V.* – Fairland; Maryland: Int'l Cooperative Publ. House, **1979**. – P. 33-58.
- Steinhorst R.K., Hunt H.W., Innis G.S., Haydock K.P.** Sensitivity analysis of the ELM model // *Grassland Simulation Model.* – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – P. 231-255.
- Stevens S.S.** On the theory of scales of measurement // *Science.* – **1946**. – V. 103. – P. 677-680.
- Stevens S.S.** Mathematics, measurement, and psychophysics // *Handbook of Experimental Psychology.* – N.Y.: Wiley, **1950**. – P. 1-49.
- Svirezhev Y.M., Voinov A.A.** A shallow lake as a dynamic system // *Ecosystem Dynamics in Freshwater Wetlands and Shallow Water Bodies / Ed. by D.O. Logofet, N.K. Luckyanov.* – M.: UNEP/ SCOPE, U.S.S.R. Academy of Sciences, **1982**. – V. 2. – P. 156-173.
- Suarez M.L., Ghermandi L., Kitzberger T.** Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* – site, climatic sensitivity and growth trends // *J. Ecol.* – **2004**. – V. 92. – P. 954-966.
- Sugihara G., May R.M.** Applications of fractals in ecology // *Trends in Ecol. and Evol.* – **1990**. – V. 5. – P. 79-86.
- Sutrop U., Kull K.** Theoretical Biology in Estonia. – Tallin: Valgus, **1985**. – 28 p.
- Systems Analysis of Ecosystems / Ed. by Innis G.S., O'Neill R.V.* – Totnes (Devon, UK): Internat. Co. Pub. House, **1979**. – 402 p. (Statistical Ecology Series).
- Tanner J.T.** The stability and the intrinsic growth rates of prey and predator populations // *Ecology.* – **1975**. – V. 56. – P. 855-867.
- Tansley A.G.** The classification of vegetation and the concept of development // *J. Ecol.* – **1920**. – V. 8. – P. 118-144.
- Terna P.** Agent based artificial experiments in social science with jESOF // *J. Social Complexity.* – **2007**. – V. 3. – P. 75-84. – <http://www.bancaditalia.it/studiricerche/seminari/2007/0020307>.
- Tester J.R., Starfield A.M., Frelich L.E.** Modeling for ecosystem management in Minnesota pine forests // *Biol. Conserv.* – **1997**. – V. 80. – P. 313-324.

- The Golden Age of Theoretical Ecology: 1923-1940. A Collection of Works by Volterra, Kossitzin, Lotka and Kolmogoroff / Eds. Scudo F.M., Ziegler J.R. – Berlin; N.Y.: Springer Verlag, **1978**. – 420 p.
- The Philosophy of Ecology: from Science to Synthesis / Ed. by D.R. Keller, F.B. Golley. – Athens: Univ. Georgia Press, **2000**. – 392 p.
- The Structure of Scientific Theories Ed. by F. Suppe. – London; Urbana: Univ. of Illinois Press, **1974**. – 660 p.
- Thompson P.** The Structure of Biological Theories. – Albany; N.Y.: State Univ. of New York Press, **1989**. – 148 p. (SUNY Series in Philosophy and Biology).
- Tilman D.** Niche tradeoff, neutrality and community structure: a stochastic theory of resource competition, invasion and community assembly // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – **2004**. – V. 101, № 30. – P. 10854-10861.
- Tomovic R.** Sensitivity Analysis of Dynamic Systems. – N.Y.: McGraw-Hill, **1963**. – 149 p.
- Toon O.B., Robock A., Turco R.P.** Environmental consequences of nuclear war // Physics Today. – **2008**. – V. 61, № 12. – P. 37-42.
- Toon O.B., Robock A., Turco R.P. et al.** Consequences of regional-scale nuclear conflicts // Science. – **2007**. – V. 315. – P. 1224-1225.
- Turchin P.** Fractal analysis of movement: a critique // Ecology. – **1996**. – V. 77, № 7. – P. 2086-2090.
- Turchin P.** Quantitative Analysis of Movement. – Sunderland (MA): Sinauer Ass., **1998**. – 406 p.
- Turchin P.** Complex Population Dynamics: A Theoretical / Empirical Synthesis. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **2003**. – 456 p. (Monographs in Population Biology).
- Turchin P., Getz W.M., Taneyhill D.E.** The logistic equation revisited: final installment // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – **1993**. – V. 8, № 2. – P. 68-70.
- Turchin P., Hanski I.** Contrasting alternative hypotheses about rodent cycles by translating them into parameterized models // Ecology Letters. – **2001**. – V. 4. – P. 267-276.
- Turchin P., Oksanen L., Ekerholm P. et al.** Are lemmings prey or predators? // Nature. – **2000**. – V. 405. – P. 562-564.
- Turkington R., Harper J.L.** The growth distribution and neighbor relationships of *Trifolium repens* in a permanent pasture. I. Ordination, pattern and contact. II. Inter- and intra-specific contact // J. Ecol. – **1979**. – V. 67, № 1. – P. 201-218; 219-230.
- Turner M.G., Wu Y., Wallace L.L. et al.** Simulating winter interactions among ungulates, vegetation and fire in northern Yellowstone Park // Ecol. Applications. – **1994**. – V. 4. – P. 472-496.
- Tyutyunov Yu., Senina I., Arditi R.** Clustering due to acceleration in the response to population gradient: a simple self-organization model // Amer. Naturalist. – **2004**. – V. 164, № 6. – P. 722-735.
- Tyutyunov Yu., Titova L., Arditi R.** Predator interference emerging from trophotaxis in predator-prey systems: an individual-based approach // Ecol. Complexity. – **2008**. – V. 5, № 1. – P. 48-58.
- Uchmanski J.** What promotes persistence of a single population: an individual-based model // Ecol. Modelling. – **1999**. – V. 115. – P. 227-241.
- Uchmanski J.** Resource partitioning among competing individuals and population persistence: an individual-based model // Ecol. Modelling. – **2000a**. – V. 131. – P. 21-32.
- Uchmanski J.** Individual variability and population regulation: an individual-based model // Oikos. – **2000b**. – V. 90. – P. 539-548.

- Uchmanski J., Grimm V.** Individual-based modelling in ecology: What makes the difference? // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – **1996**. – V. 11. – P. 437-441.
- Uchmanski J., Grimm V.** Individual-based modelling: What is the difference? Reply // Trends in Ecology & Evolution (TREE). – **1997**. – V. 12. – P. 112.
- Uhlenbeck G.E., Ornstein L.S.** On the theory of the Brownian motion // Phys. Rev. – **1930**. – V. 36. – P. 823-841.
- Ulanowicz R.E.** Ecology, the Ascendent Perspective. – N.Y.: Columbia Univ. Press, **1997**. – 201 p.
- Ulanowicz R.E., Jørgensen S.E., Fath B.D.** Exergy, information and aggradation: An ecosystem reconciliation // Ecol. Modelling. – **2006**. – V. 198. – P. 520-525.
- Underwood A.J.** Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology // Oceanography and Marine Biology Annual Reviews. – **1981**. – V. 19. – P. 513-605.
- Underwood A.J.** Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, **1997**. – 504 p.
- Usher M.B.** A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests // J. of Appl. Ecol. – **1966**. – V. 3, № 3. – P. 355-367.
- Usher M.B.** A matrix model for forest management // Biometrics. – **1969**. – V. 25, № 3. – P. 309-315.
- Usher M.B.** 1972. Developments in the Leslie matrix model // Mathematical Models in Ecology. – London; Oxford: Blackwell Sci. Publ., **1972**. – P. 29-60.
- Utida S.** Cyclic fluctuations of population density intrinsic to the host-parasite system // Ecology. – **1957**. – V. 38, № 3. – P. 442-449.
- Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V. et al.** Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. – **1999**. – № 400. – P. 149-151.
- Vaganov E. A., Hughes M. K., Shashkin A. V.** Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. – Berlin etc.: Springer-Verlag, **2006**. – 354 p. (Ser. Ecological Studies. V. 183).
- Vandermeer J.H., Goldberg D.E.** Population Ecology: First Principles. – Princeton (NJ): Princ. Univ. Press, **2003**. – 296 p.
- Van Dyne G.M.** Ecosystems, Systems Ecology and Systems Ecologists. Oak Ridge National Laboratory Report ORNL 3957. – Oak Ridge (Tennessee): ORNL, **1966a**. – 31 p.
- Van Dyne G.N.** Application and integration of multiple linear regression and linear programming in renewable resource analyses // J. Range Manag. – **1966b**. – V. 19, № – P. 356-362.
- Van Dyne G.M.** Grassland Management, Research and Teaching Viewed in a Systems Context. Range Sci. Depart., sci. ser. № 3. – Fort Collins: Colorado State Univ., **1969**. – 39 p.
- Van Dyne G.M.** An Overview of the Ecology of the Great Plains Grasslands with Special Reference to Climate and its Impact. Tech. Rept. № 290. – N.Y.: Grassland Biome, U.S. Int. Biol. Program, **1975**. – 93 p.
- Van Dyne G.M.** Foreword: Perspectives on the ELM model and modelling efforts // Grassland Simulation Model / Ed. by Innis G.S. – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – P. V-XXVI.
- Van Dyne G.M., Dyer M.I.** A general view of grasslands – a human and ecological perspective // Analysis of Structure, Function and Utilization of Grassland Ecosystems. Proposal Submitted to the National Science Foundation. – Fort Collins: Colorado State Univ., **1973**. – P. 38-57.
- Van Dyne G.M., Jameson D.A., French N.R.** Analysis of Structure and Function of Grassland Ecosystems. A Progress Report and a Continuation Proposal. – Fort Collins: Colorado State Univ., **1970**. – 700 p.

- Van Keulen H. C.T.** De Wit (1924-1993) // 40 Years Theory and Model at Wageningen UR. – Wageningen (The Netherlands): Wageningen Univ. and Res. Centre, **2008**. – P. 55-57.
- Van Oijen M., Agren G.I., Chertov O. et al.** Methodology for the application of process-based models to analyses changes in European forest growth // Causes and Consequences of Forest Growth Trends in Europe. Results of the Recognition Project / Ed. by Kahle H.P. – Leiden: Brill, **2008a**. – P. 67-80. (European Forest Institute Research Reports, 21).
- Van Oijen M., Agren G.I., Chertov O. et al.** Evaluation of past and future changes in European forest growth by means of four process-based models // Causes and Consequences of Forest Growth Trends in Europe. Results of the Recognition Project / Ed. by Kahle H.P. – Leiden: Brill, **2008b**. – P. 183-199. (European Forest Institute Research Reports, 21).
- Vapnik V.N.** Statistical Learning Theory. – N.Y.: John Wiley, **1998**. – 732 p.
- Verhulst P.F.** Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement // Correspondance Mathématique et Physique. – **1838**. – V. 10. – S. 113-121.
- Verhulst P.F.** Recherches Mathématiques sur la Loi de l'Accroissement de la Population // Nouveaux Memoires de l'Academie Royale des Sciences et de Belles Lettres de Bruxelles. – **1845**. – V. 18, Art. 1. – S. 1-45. (Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase).
- Vernadsky V.I.** Sur la pression de la matière vivante dans la biosphère/ Compte Rendu Acad. Sci. Paris. – **1925**. – V. 120. – P. 2079-2081. [Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, **1994**. – С. 603-604].
- Vičzek T.** Fractal Growth Phenomena. – N.Y. et al.: World Scientific, **1989**. – 355 p.
- Vittikh V.A.** Engineering theories as a basis for integrating deep engineering knowledge // Artificial Intelligence in Engineering. – **1997**. – V. 11, № 1. – P. 25-30.
- Voinov A.A.** Paradoxes of sustainability // Журн. общ. биол. – **1998**. – Т. 59, № 2. – С. 209-218. – http://www.uvm.edu/giee/AV/PUBS/PARADOX/Sust_Par.html.
- Vollenweider R.A.** Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication OECD. – Paris: Tech Report DA 515C1168 27, **1968**. – 250 p.
- Vollenweider R.A.** Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology // Scitweiz. A. Hyorol. – **1975**. – V. 37. – P. 53-84.
- Volterra V.** Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically // Nature. – **1926a**. – V. 118. – P. 558-560.
- Volterra V.** Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi // Mem. R. Accad. Naz. dei Lincei. – **1926b**. – Ser. VI, vol. 2. – P. 31-113.
- Volterra V.** Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie. – Paris: Gauthier-Villars, **1931**. – 214 p.
- Wagensberg J.** El descubridor de fractales. Benoit Mandelbrot (1924-2010) // La Vanguardia. – **2010**. 20 October. – P. 37.
- Wald A.** Sequential Analysis. – N.Y.: John Wiley & Sons, **1947**. – 212 p.
- Walker B.H.** The systems approach to ecological research // Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa. – **1978**. – V. 13, № 1. – P. 17-20.
- Waltho N., Kolasa J.** Organization of instabilities in multispecies systems: a test of hierarchy theory // Proc. National Acad. of Sci. USA. – **1994**. – V. 91. – P. 1682-1685.
- Wangersky P.J., Cunningham W.J.** Time lag in prey-predator population model // Ecology. – **1957**. – V. 38, № 1. – P. 136-139.
- Ward J.H. Jr.** Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. Amer. Statist. Assoc. – **1963**. – V. 58. – P. 236-244.
- Weaver J.E., Clements F.E.** Plant Ecology. – N.Y.: McGraw-Hill, **1929**. – 520 p.

- Webb J.K.** Are the laws of nature changing with time? // *Physics world*. – 2003. – № 4. – P. 33-38.
- Weiss G.** *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. – Cambridge (MA): MIT Press, 2000. – 648 p.
- West G.B., Brown J.H., Enquist B.J.** A general model for the origin of allometric scaling laws in biology // *Science*. – 1997. – V. 276. – P. 122-126.
- West G.B., Brown J.H., Enquist B.J.** The fourth dimension of life: Fractal geometry and allometric scaling of organisms // *Science*. – 1999. – V. 284. – P. 1677-1679.
- West G.B., Brown J.H., Enquist B.J.** A general allometric model of ontogenetic growth // *Nature*. – 2001. – V. 413. – P. 628-631.
- West G.B., Brown J.H., Enquist B.J.** Growth models based on first principles or phenomenology? // *Functional Ecol.* – 2004. – V. 18. – P. 188-196.
- West G.B., Savage V.M., Gillooly J. et al.** But why *does* metabolic rate scale with body size? (Brief communication) // *Nature*. – 2003. – V. 421. – P. 713.
- Westhoff V., Maarel E. van der.** The Braun-Blanquet approach // *Handbook of Vegetation Science*. Pt. 5. Ordination and Classification of Vegetation. – The Hague: Dr. W. Junk B.V. Publ., 1973. – P. 617-726.
- Westman W.E., Peet R.K.** Robert H. Whittaker (1920-1980): The man and his work // *Vegetatio*. – 1982. – V. 48. – P. 97-122.
- Whittaker R.H.** A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern // *Ecol. Monogr.* – 1953. – V. 23, № 1. – P. 41-78.
- Whittaker R.H.** Dominance and diversity in land plant communities // *Science*. – 1965. – V. 147, № 3655. – P. 250-260.
- Whittaker R.H.** Evolution and measurement of species diversity // *Taxon*. – 1972. – V. 21. – P. 213-251. [рус. перевод: Уиттекер Р. Эволюция и измерение видового разнообразия // *Антология экологии / Состав. и коммент. Г.С. Розенберга*. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. – С. 297-330.]
- Whittaker R.H.** Direct gradient analysis: techniques // *Handbook of Vegetation Science*. Part 5. Ordination and Classification of Vegetation. – Hague: Dr. W. Junk B.V. Publ., 1973. – P. 7-30. [рус. перевод: Уиттекер Р. Прямой градиентный анализ: техника // *Антология экологии / Состав. и коммент. Г.С. Розенберга*. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. – С. 73-97.]
- Whittaker R.H.** Climax concept and recognition // *Handbook of Vegetation Science*. Part 8. Vegetation Dynamics. – Hague: Dr. W. Junk B.V. Publ., 1974. – P. 137-154.
- Whittaker R.H.** Evolution of species diversity in land communities // *Evol. Biol.* – 1977. – V. 10. – P. 1-67.
- Whittaker R.H., Levin S.A.** The role of mosaic phenomena in natural communities // *Theor. Popul. Biol.* – 1977. – V. 12, № 2. – P. 117-139.
- Whittaker R.H., Levin S.A., Root R.B.** Niche, habitat and ecotype // *Amer. Naturalist*. – 1973. – V. 107. – P. 321-338.
- Wiener N.** *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. – Paris: Hermann et Cie; Cambridge (Mass.): The MIT Press; N.Y.: Wiley, 1948. – 194 с. (Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Сов. радио, 1968. – 326 с.).
- Wiens J.A., Crist T.O., With K.A., Milne B.T.** Fractal patterns of insect movement in micro-landscape mosaics // *Ecology*. – 1995. – V. 76. – P. 663-666.

- Wilensky U.** NetLogo (computer software). – Evanston (IL): Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, **1999**. – <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>.
- Wilensky U.** Modeling nature's emergent patterns with multi-agent languages // Proceedings of EuroLogo 2001 / Ed. by G. Futschek. – Linz (Austria), **2001**. – P. 1-10.
- Wilensky U.** NetLogo. Ising model (computer software). – Evanston (IL): Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, **2003**. – <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ising>.
- Williams C.B.** Application of the Richard's function to characterize growth potential for different biological types of cattle [abstract] // J. Anim. Sci. – **2002**. – V. 80, Suppl. 1/J. – P. 213.
- Williams R.B.** Computer simulation of energy flow in Cedar Bog Lake, Minnesota, based on the classical studies of Lindeman // System Analysis and Simulation in Ecology / Ed. by B. Patten. – **1971**. – P. 543-582.
- Wilson E.O.** Sociobiology: The New Synthesis. – Cambridge (Massachusetts): Harvard Univ. Press, **1975**. – 697 p.
- Wimsatt W.C.** Reductionist research strategies and their bias in the units of selection controversy // Conceptual Issues in Ecology / Ed. by E. Saarinen. – Dordrecht; Boston; London: Dordrecht Reidel Publ. Co., **1982**. – P. 181-214.
- Wimsatt W.C.** Reductionism and its heuristics: making methodological reductionism honest // Synthese (Springer Netherlands). – **2006**. – V. 151, № 5. – P. 445-475.
- Wit C.T. de, Goudriaan J.** Simulation of Ecological Processes. – Wageningen: Centre for Agriculture. Publ. and Document., **1974**. – 167 p.
- Wit C.T. de, Keulen H. van.** Simulation of Transport Processes in Soils. – Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, **1972**. – 120 p.
- Wit C.T. de, Keulen H. van.** Modelling production of field crops and its requirements // Geoderma. – **1987**. – V. 40. – P. 254-265.
- Wit C.T. de, Penning de Vries F.W.T.** Crop growth models without hormones // Neth. J. Agric. Sci. – **1983**. – V. 31. – P. 313-323.
- With K.A.** Using fractal analysis to assess how species perceive landscape structure // Landscape Ecol. – **1994**. – V. 9. – P. 25-36.
- Wolk F., Seuront L., Yamazaki H., Leterme S.** Comparison of biological scale resolution from CTD and microstructure measurements // Handbook of Scaling Methods in Aquatic Ecology / Ed. by Seuront L., Strutton P.G. – Boca Raton: CRC Press, **2003**. – P. 3-16.
- Woodger J.H.** The Axiomatic Method in Biology. – L.: Cambridge Univ. Press, **1937**. – 174 p.
- Woodiwiss F.S.** The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chem. and Ind. – **1964**. – V. 11. – P. 443-447.
- Woodmansee R.G.** Critique and analyses of the grassland ecosystem model ELM // Grassland Simulation Model / Ed. by Innis G.S. – N.Y. etc.: Springer-Verlag, **1978**. – P. 256-281.
- Woodwell G.M.** Effects of ionizing radiation on terrestrial ecosystems // Science. – **1962**. – V. 138. – P. 572-577.
- Woodwell G.M.** The ecological effects of radiation // Scientific American. – **1963**. – V. 208, № 6. – P. 40-49.
- Wooldridge M.** An Introduction to Multi-Agent Systems. – N.Y. et al.: John Wiley & Sons Ltd, **2002**. – 366 p.
- Wright E.M.** A non-linear difference-differential equation // J. Reine und angew. Math. – **1955**. – V. 194. – P. 66-87.

- Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K.** Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (intraspecific competition among higher plants XI) // J. of Biol. (Osaka City Univ.). – **1963**. – V. 14. – P. 107-129.
- Yodzis P.** Introduction to Theoretical Ecology. – N.Y.: Harper & Row, **1989**. – 384 p.
- Yourdon E.** Modern Structured Analysis. – N.Y.: Prentice-Hall PTR, **1988**. – 688 p.
- Yule G.U.** On a method of investigating periodicities in disturbed series, with special reference to Wolfer's sunspot numbers // Philisoph. Transact. Royal Soc. of London. Ser. A. – **1927**. – V. 226. – P. 267-298.
- Zadeh L.A.** Fuzzy sets // Information and Control. – **1965**. – V. 8, № 3. – P. 338-353.
- Zaitsev V.** Analog modeling as a base component for forecasting the consequences caused by climatic changes // Second International Conference on Earth System Modelling (ICESM). Abstracts. – **2007**. – V. 1. – ICESM2007-A-00155.
- Zakharov V.M., Pankakoski E., Sheftel B.I. et al.** Developmental stability and population dynamics in the common shrew, *Sorex araneus* // Amer. Naturalist. – **1991**. – V. 138, № 4. – P. 797-810.
- Zhang Y., Ma K., Anand M., Fu B.** Do generalized scaling laws exist for species abundance distribution in mountains? // Oikos. – **2006**. – V. 115. – P. 81-88.
- Zhirmunsky A.V., Kuzmin V.I.** Critical Levels in the Development of Natural Systems. – Berlin et al.: Springer-Verlag, **1988**. – 170 p.
- Zobel K., Zobel M.** A new null hypothesis for measuring the degree of plant community organization // Vegetatio. – **1988**. – V. 75. – P. 17-25.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Meesters E.H.W.G.** A Beginner's Guide to R. – N.Y.: Springer, **2009b**. – 216 p. (Ser. Use R).
- Zuur A.F., Ieno E.N., Smith G.M.** Analysing Ecological Data. – Berlin et al.: Springer Sci., **2007**. – 680 p. (Ser.: Statistics for Biology and Health).
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J. et al.** Mixed Effects Models in Ecology with R. – N.Y.: Springer-Verlag, **2009a**. – 574 p. (Statistics for Biology and Health).

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|------------|
| Глава 7. Принципы создания естественнонаучных теорий | 3 |
| 1. Основные черты теоретических исследований в биологии | 3 |
| 2. Аксиоматический подход | 20 |
| 3. Содержательный (физический) подход | 24 |
| 4. Системный подход | 48 |
| 5. О «парадоксах жизни» и их приложении к теоретической экологии | 53 |
| 6. Некоторые выводы | 60 |
| Глава 8. Примеры некоторых теоретических построений в экологии | 62 |
| 1. Теория по П. Юхачу-Наги | 63 |
| 2. Теория по Крису Г. Ван Лиувену | 68 |
| 3. Теория по В.И. Василевичу | 71 |
| 4. Теория по Б.М. Миркину | 76 |
| 5. Теория по А.Ф. Алимову | 80 |
| 6. Теория по В.С. Ипатову и Л.А. Кириковой | 87 |
| 7. Теории <i>a la modern</i> | 90 |
| Глава 9. «Основание» экологической теории | 95 |
| 1. Первоначальный эмпирический базис | 95 |
| 2. Идеализированный объект | 111 |
| 3. Система фундаментальных понятий | 117 |
| 4. Процедуры измерения | 120 |
| Шкала наименований | 129 |
| Шкала порядка | 129 |
| Шкала интервалов | 131 |
| Шкала отношений | 131 |
| Измерение средних величин | 135 |
| 5. Правила действия над экологическими величинами | 141 |
| Глава 10. «Ядро» экологической теории | 145 |
| 1. Экологические константы | 145 |
| 2. Система законов | 168 |
| О возможности формализации процесса «открытия законов» | 170 |
| Законы потенциальной эффективности экосистем | 178 |
| Принцип лимитирующих факторов Либиха–Шелфорда | 181 |
| Закон критических величин фактора | 182 |
| Принцип агрегации особей Олли | 183 |
| Закон максимизации размера целостной стаи | 186 |
| Коллективный поиск и обнаружение «пятен» пищи | 187 |
| Коллективная защита от хищника | 189 |
| Сохранение целостности <i>m</i> -стаи | 193 |
| Стохастическая модель целостной стаи | 195 |

| | |
|---|-----|
| Принцип конкурентного исключения Гаузе | 198 |
| Модель конкуренции нескольких популяций за ресурс | 200 |
| Законы системы «хищник–жертва» Вольтерра | 205 |
| Оптимизационная модель выживания сообщества, потребляющего ограниченный ресурс | 207 |
| Пример 10.2.1. Закон оптимизации предотвращения катаклизмов | 208 |
| 3. Законы сохранения | 212 |
| 4. Принципы симметрии | 224 |
| 5. Законы связи новых и старых теорий | 228 |
| Глава 11. «Вершина» экологической теории | 239 |
| 1. Объяснение совокупности известных эмпирических фактов Сукцессия в травосмесях | 239 |
| 2. Предсказание новых явлений | 259 |
| 3. Общая интерпретация основного содержания теории | 262 |
| Заключение | 269 |
| Портреты и фотографии заимствованы из следующих источников | 284 |
| Литература | 327 |

Розенберг Геннадий Самуилович

Введение в теоретическую экологию
В 2-х т. Издание 2-е, исправленное и дополненное. Т. 2

Технический редактор *О.Л. Носкова*
Верстка и оригинал-макет *Г.С. Розенберга* и *И.В. Пантелеева*

Издательство «Кассандра»
445061, Гольяты, ул. Индустриальная, 7
Тел./факс. (8482) 570-004

Подписано в печать с оригинал макета 20.09.2013 г.
Формат 60x90 1/16 Печать офсетная Усл.печ.л. 1,5
Тираж 100 экз. Заказ № 105
Отпечатано в типографии ООО «Кассандра»