

*На правах рукописи*

*Н.Косица*

**КОСТИНА НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА**

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ REGION**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

доктора биологических наук

**Тольятти - 2017**

Работа выполнена в лаборатории моделирования и управления экосистемами  
Института экологии Волжского бассейна РАН (г. Тольятти)

**Научный  
консультант:**

**Розенберг Геннадий Самуилович,**  
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук,  
профессор, директор Института экологии Волжского  
бассейна (г. Тольятти)

**Официальные  
оппоненты:**

**Фрисман Ефим Яковлевич,**  
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук,  
профессор, директор Института комплексного анализа  
региональных проблем Дальневосточного отделения  
Российской академии наук (г. Биробиджан);

**Иудин Дмитрий Игоревич,**  
доктор биологических наук, доктор физико-  
математических наук, ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного научного  
учреждения «Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной физики РАН» (г. Нижний  
Новгород);

**Полищук Юрий Михайлович,**  
доктор физико-математических наук, профессор, главный  
научный сотрудник Центра дистанционного зондирования  
Земли Югорского НИИ информационных технологий (г.  
Ханты-Мансийск)

**Ведущая  
организация:**

**Казанский (Приволжский) федеральный университет  
(г. Казань)**

Защита состоится **27 октября 2017 г. в 10<sup>00</sup> часов** на заседании  
диссертационного совета Д 002.251.02 при Институте экологии Волжского бассейна  
РАН по адресу: 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; тел. (8482) 489-977, E-mail:  
ievbras2005@mail.ru.

Диссертационный совет Д 002.251.02 при ИЭВБ РАН: тел: 8 (8482) 489-169,  
E-mail: dissovetievb@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ИЭВБ РАН,  
на сайте ИЭВБ РАН по адресу <http://www.ievbras.ru> и на сайте ВАК  
<http://www.vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



А.Л. Маленев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования. Степень ее разработанности.** В последние десятилетия в мире большое внимание уделяется вопросам устойчивого развития. Сформулированное понятие устойчивого развития (Our Common Future..., 1987) актуализирует определение критериев оценки состояния и прогнозы дальнейшего развития сложной социо-эколого-экономической системы, включающей природную, производственную, демографическую, социальную и институциональную составляющие. Первоочередным для поддержания качества жизни, которое обеспечивается социально-экономическим развитием, является сохранение среды обитания и грамотное использование ресурсного потенциала, а также сохранение природных экосистем и их биоразнообразия.

Обеспечение устойчивого развития является сложной задачей, так как зависит от множества различных факторов. Поэтому актуальной проблемой является создание моделей развития с учетом меняющихся условий. Свое место в решении данного вопроса находят информационные системы, в том числе и экспертные, которые позволяют не только накапливать данные, но и определять критические состояния, давать пространственное распределение экологических оценок, на основе накопленной разноплановой информации рассматривать научно-обоснованные сценарии дальнейшего устойчивого развития социо-эколого-экономических систем (СЭЭС) разного уровня, сохраняя баланс человеческой деятельности с естественно-эволюционным развитием природы.

Экономические, социальные и экологические аспекты устойчивого развития обсуждались в многочисленных работах (Моисеев, 1987, 2003; Данилов-Данильян, Лосев, 2000; Бобылев 1995, 2015; Захаров, 2000, 2011; Чепурных, 1996, 1997; Розенберг, 2009 и многие другие). Наиболее актуальным, с нашей точки зрения, является не только разработка систем индикаторов и индексов для оценки состояния СЭЭС на международных, государственных и региональных уровнях (Бобылев и др., 2007, 2011, 2013; Тарасова, Кручина, 2006 и др.), а также комплексная оценка устойчивого развития.

Территория Волжского бассейна, занимающая стратегическое место в социо-эколого-экономическом потенциале развития Российской Федерации, является значимой для дальнейшего продвижения в рамках устойчивого развития страны.

Следует отметить, что, несмотря на то, что вопросами устойчивого развития Волжского бассейна занимались многие исследователи (Розенберг и др. 1998, 1999, 2003, 2004, 2015; Хасаев, 2014; Гелашвили и др., 2006 и др.), анализ социо-эколого-экономического состояния территорий Волжского бассейна на основе комплекса взаимосвязанных и взаимозависимых индикаторов и индексов ранее не проводился, что обуславливает цель и актуальность работы.

**Цель исследования.** Анализ состояния социо-эколого-экономических систем территории Волжского бассейна и построение прогнозов устойчивого развития с использованием экспертной информационной системы REGION.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать пространственное распределение показателей биоразнообразия на примере территории Самарской области (по физико-географическим районам), выявить характер зависимости показателей биоразнообразия от природных и антропогенных факторов на исследуемой территории и на основе полученных моделей осуществить прогноз дальнейшего развития экосистем по показателям биоразнообразия.

2. Провести социо-эколого-экономическую оценку пространственного распределения комплексных показателей, полученных с помощью экспертно-информационной системы REGION (ЭИС REGION), на примере территории Волжского бассейна. Оценить пространственное распределение показателей устойчивого развития: индекса развития человеческого потенциала, «экологического следа» и показать их взаимосвязь с другими индексами и индикаторами устойчивого развития.

3. Предложить метод интегральной оценки по комплексу индексов и индикаторов устойчивого развития и оценить социо-эколого-экономическое состояние административных единиц Волжского бассейна.

**Научная новизна:**

– предложены и апробированы методы комплексного анализа современного состояния социо-эколого-экономических систем территорий Волжского бассейна и Самарской области;

– на основе пространственных распределений выявлены тенденции изменения биоразнообразия от антропогенных и природных факторов, рассмотрены сценарии дальнейшего развития;

– впервые для территории Волжского бассейна на основе выбранных индикаторов и индексов устойчивого развития проведена интегральная оценка социо-эколого-экономического состояния административных единиц;

– выделены три группы регионов Волжского бассейна, сгруппированных на основе проведенного комплексного социо-эколого-экономического анализа;

– рассмотрен сценарный прогноз устойчивого развития Самарской области.

**Теоретическая значимость работы.** Многофункциональные возможности ЭИС REGION позволили оценить состояние социо-эколого-экономических систем территории Волжского бассейна на основе синтезированных интегральных показателей. Анализ зависимостей показателей биологического разнообразия (классификационно-регрессионные методы оценки) выявил доли влияния природных и антропогенных факторов.

**Практическая значимость.** Результаты работы позволяют решать ряд практических задач: проводить комплексный анализ состояния социо-эколого-экономических систем территорий Волжского бассейна; оценивать уровень антропогенной нагрузки; осуществлять прогноз развития экологической обстановки с помощью модельных «сценариев» и на этой основе формулировать рекомендации по достижению экологической безопасности, устойчивого развития и направлений социально-экологической реабилитации территорий. Материалы исследований переданы в Министерство регионального развития РФ, вошли в Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации, используются в учебных курсах в Самарском государственном экономическом университете и Волжском университете им. В.Н. Татищева (г. Тольятти).

**Методология и методы исследования.** Исследования проводились с использованием «Экспертно-информационной базы данных состояния социо-эколого-экономических систем разного масштаба REGION (ЭИБД "REGION")» (Свидетельство о государственной регистрации № 2015620402 от 27 февраля 2015 г.). Формирование и наполнение базы данных производили по информации как официальных источников (Госдоклады РФ, данные Федеральной службы официальной статистики, научные публикации и др.), так и по результатам экспедиционных исследований и научных разработок Института экологии Волжского бассейна РАН. Использовали разработанные методы информационной обработки, включенные в состав ЭИС REGION: нормирование исходных данных, получение балльных оценок, синтезирование интегральных показателей, корреляционно-регрессионный анализ.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Оценка биоразнообразия Самарской области (сосудистые растения, орнитофауна, пресмыкающиеся, млекопитающие) по физико-географическим районам и тенденции его изменения под воздействием антропогенных и природных факторов.

2. Анализ экологического состояния территории Волжского бассейна по комплексу показателей: общая оценка изменений эколого-социо-экономического состояния административных единиц, экологическая оценка территорий с использованием обобщенной функции желательности; оценка по показателям, условно отнесенным к «экологии культуры».

3. Взаимосвязь оценки показателя «экологического следа» и индекса развития человеческого потенциала с другими индексами устойчивого развития на примере территории Волжского бассейна.

4. Метод интегральной оценки индексов и индикаторов устойчивого развития.

**Апробация результатов.** Результаты представлены на Международной научной конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды» (Тольятти, 2004); на Международном

симпозиуме «Инженерная экология-2005» (Москва, 2005); на Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Синергетика природных, технических и социально-экономических систем» (Тольятти, 2006); на VII Международном симпозиуме «Проблемы эоинформатики» (Москва, 2006); на Международном симпозиуме «Инженерная экология-2007» (Москва, 2007); на Первом Международном экологическом конгрессе «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2007 (Тольятти, 2007); на Международной конференции «Изменение климата и возможные последствия для экосистем Волжского бассейна. Волжский бассейн 50 лет спустя: перспективы и прогнозы» (Тольятти, 2007); на Международной научной конференции «Наука. Творчество: Коняевские чтения» (Самара, 2007); на Международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек-4» (Тольятти, 2008); на II Международном экологическом конгрессе (IV научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» (Тольятти, 2009); на Международной научно-практической конференции «Экологическое равновесие и устойчивое развитие территории» (С-Петербург, 2010); на IX международном симпозиуме «Проблемы Эоинформатики» (Москва, 2010); на конференции «География продуктивности и биологического круговорота наземных ландшафтов к 100-летию проф. Н.И. Базилевич (1910-1997)» (Пушино, 2010); на IV Всероссийской научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий: теория и практика» (Уфа, 2012); на Международных конференциях «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Самара-Тольятти, 2014, 2015, 2016); на Международной научно-практической конференции «Формирование и становление рынка интеллектуальной собственности как основного фактора создания инновационной экономики и обеспечения устойчивого развития регионов в условиях кризиса» (Тольятти, 2015); на Международном форуме «Каспий – море дружбы и надежд», посвященного 85-летию Дагестанского государственного университета (Махачкала, 2016); на VII Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование: прикладные аспекты» (Уфа, 2017).

**Декларация личного участия автора.** Работа является результатом собственных исследований автора за 2004-2016 гг. Автор участвовал в разработке методологии построения ИЭС REGION, сборе эколого-экономической информации по разным территориям, лично разработал математическое обеспечение, провел все расчеты и интерпретировал результаты для территорий Волжского бассейна и Самарской области. Доля личного участия автора в совместных публикациях пропорциональна числу авторов.

**Связь темы диссертации с плановыми исследованиями.** Работа проводилась в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами», «Биоразнообразии природных систем.

Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга», Государственной поддержки ведущих научных школ (грант НШ 3018.2012.4), грантов РГНФ (№ 12-12-63005; № 15-12-63006, №16-16-60003\_a\_p) и РФФИ (№ 13-04-97004 [руководитель]; № 14-06-97019 и № 15-44-02160).

**Структура и объем диссертации.** Работа изложена на 265 страницах текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и выводов, списка цитированной литературы (344 наименований, в том числе 24 на иностранных языках) и приложения. Работа содержит 108 рисунков и 32 таблицы.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 55 печатных работ, из них 15 в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 монографии, получено свидетельство государственной регистрации № 2015620402 от 27 февраля 2015 г. «Экспертно-информационная база данных состояния социо-эколого-экономических систем разного масштаба REGION (ЭИБД "REGION").

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность научному консультанту чл.-корр. РАН, д.б.н. Розенбергу Г.С., д.б.н. Шитикову В.К., д.б.н. Зинченко Т.Д., д.б.н. Розенцвет О.А., д.б.н. Саксонову С.В. за неоценимую помощь в выполнении работы, а также коллегам: к.б.н. Кузнецовой Р.С., к.б.н. Лифиренко Н.Г., к.э.н. Кудиновой Г.Э., к.б.н. Розенберг А.Г., к.б.н. Ивановой А.В., к.б.н. Пыршевой М.В., к.б.н. Бакиеву А.Г., к.б.н. Сенатору С.А., Аристовой М.А., Пантелееву И.В., Вехнику В.П. и др., а также фондам РФФИ и РГНФ за финансовую поддержку.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Анализ разработанных систем индексов и индикаторов для целей устойчивого развития территорий. Роль информационных систем в оценке состояния социо-эколого-экономических систем**

В главе представлен краткий обзор существующих баз данных и информационных систем в области экологии и охраны окружающей среды. Приведена характеристика некоторых социо-эколого-экономических показателей, которые могут выступать в качестве индексов устойчивого развития территорий. Описано текущее состояние использования типизированных систем индикаторов устойчивого развития – зарубежный и отечественный опыт.

### **Глава 2. Экспертно-информационная система REGION (методы исследования)**

В главе изложена история создания и методология ЭИС REGION. Раскрыта концепция построения, формализация пространственного описания территорий разного масштаба, приведена структура базы данных и ее возможности, описаны разработанные

алгоритмы обработки пространственно распределенной социальной, экологической и экономической информации.

Продемонстрирована работоспособность ИЭС REGION на основе полученных результатов исследований на примере территорий Волжского бассейна и Самарской области: рассмотрены сценарии различных вариантов развития экологической ситуации в Самарской области и сценарии устойчивого развития Волжского бассейна; проведено районирование Самарской и Нижегородской областей в пространстве эколого-экономических и медико-демографических параметров; осуществлен прогноз первичной биопродуктивности территории Волжского бассейна в условиях изменения климата; рассмотрена заболеваемость населения как индикатор качества жизни (на примере территорий Самарской области и Волжского бассейна); проведена оценка стоимости экосистемных услуг муниципальных районов Самарской области.

### **Глава 3. Оценка и пространственный анализ видового разнообразия Самарской области, тенденций его изменения под воздействием антропогенных факторов**

Отмечено, что важной характеристикой любой экосистемы является видовое разнообразие биотической компоненты, которое зависит в первую очередь от природно-климатических условий, ландшафтных особенностей и специфики исторического развития территории. Основное значение при этом играет комплекс факторов, определяющих «экологическую емкость» территории, то есть «объем» ресурсов, необходимых для существования популяций видов.

#### **3.1. Анализ биоразнообразия Самарской области**

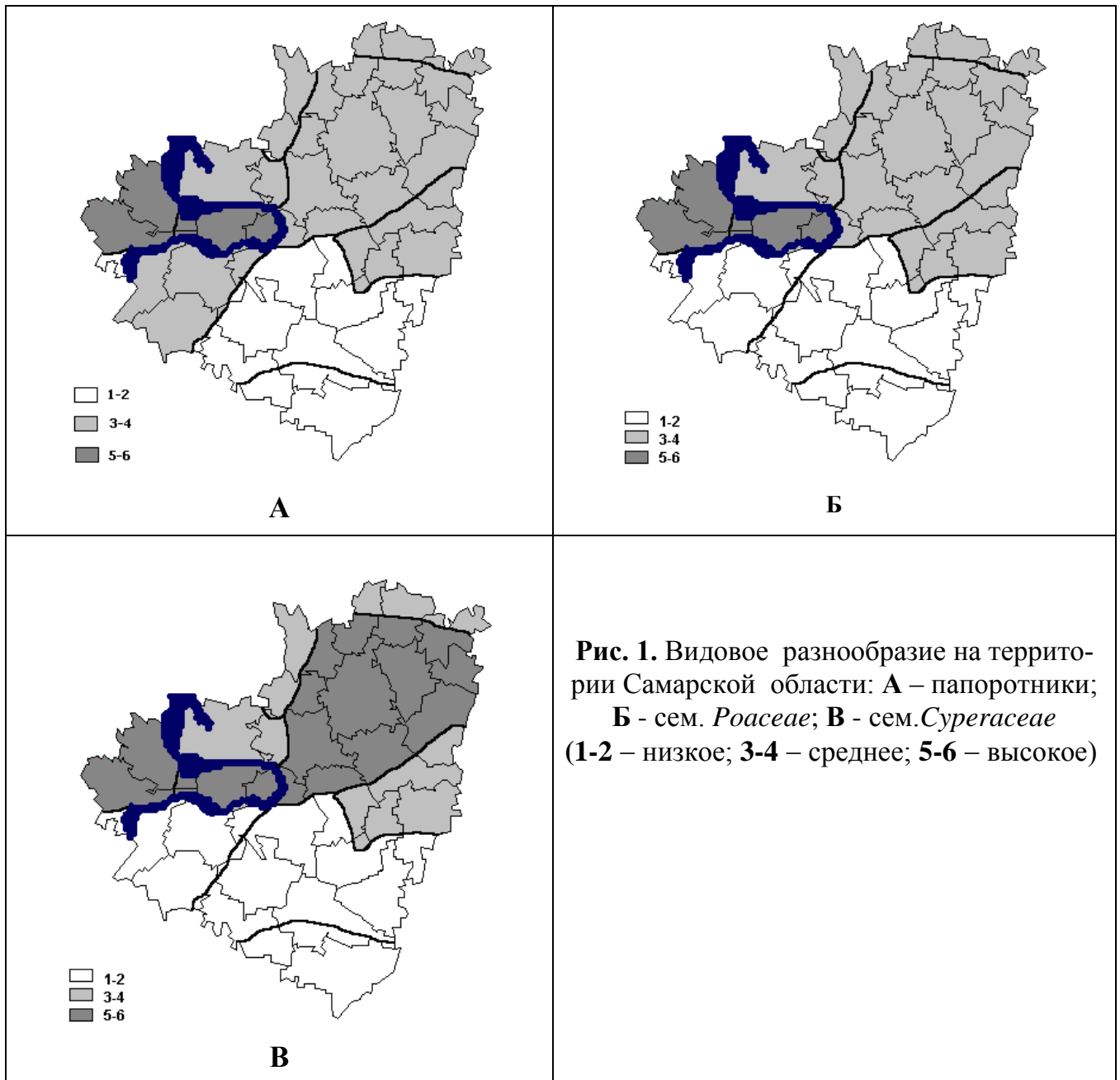
Для оценки биоразнообразия Самарской области в рамках ЭИС REGION использовали экспертные балльные оценки встречаемости видов с учетом их эколого-ценотической приуроченности. Ввод биологических показателей осуществлен согласно физико-географическому районированию. Всего в базу данных было добавлено более 500 показателей (балльных оценок), основанных на результатах исследований сотрудниками ИЭВБ РАН, а также из литературных источников. Интегральную оценку биоразнообразия осуществили с помощью индексов разнообразия.

Получена оценка биоразнообразия по отдельным биологическим компонентам: по некоторым таксономическим единицам флоры (отд. *Polypodiophyta*), сем. *Poaceae* и *Cyperaceae*), по видовому составу пресмыкающихся (11 видов), орнитофауны (184 вида), млекопитающих (74 вида).

Папоротникообразные относятся к наиболее древней группе растений. Большая часть видов являются редкими, включенными в Красные книги федерального и регионального значения. Картографическое отображение индекса Шеннона-Уивера подчеркивает особенности распространения видов этого отдела (рис. 1А). Полученные результаты следует включить в схему природоохранного районирования Самарской области, направ-



ленную на оптимизацию режима природопользования в целях сохранения биологического разнообразия.

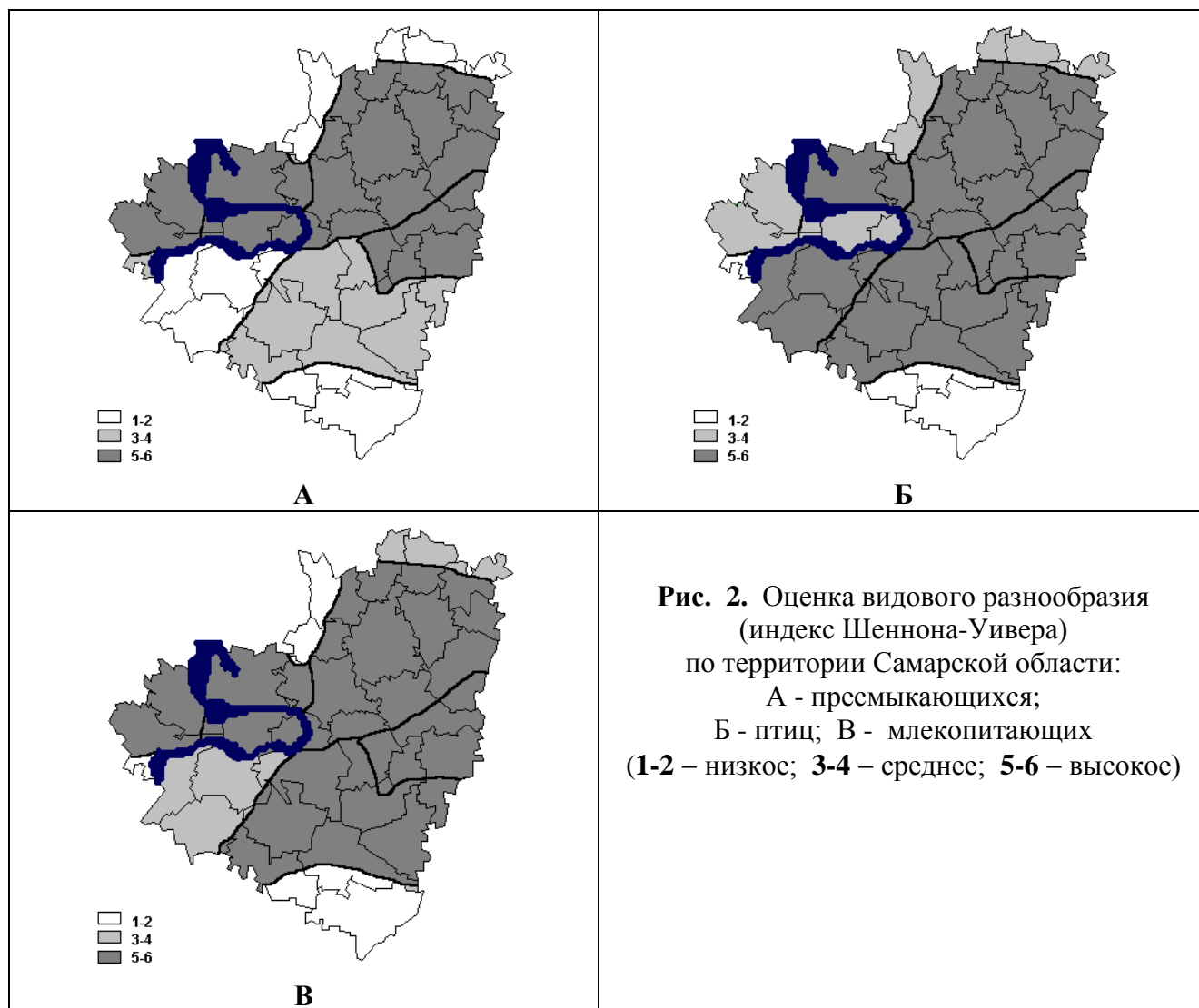


Семейство *Poaceae* - одно из самых многочисленных семейств флоры, виды которого занимают разнообразные экотопы. Анализ эколого-ценотической структуры подтвердил как индивидуальные черты, так и тот факт, что соотношения лесных (3-9%), луговых (46-50%), степных (19-22%) видов этого семейства укладывается в диапазоны, присущие природно-климатической зоне. Максимальные значения показателей видового разнообразия характерны для правобережных районов, а минимальные – для степной части Самарской области (рис. 1Б). Семейство *Cyperaceae* также входит в головную часть семейственного спектра. В первую очередь виды этого таксона широко представлены в сообществах болот, сырых лугов, берегов водоемов и водотоков (рис. 1В). Менее разно-

образны в видовом отношении, но активны в сложении фитоценозов лесные и степные виды.

Полученные оценки фиторазнообразия по представителям трех рассмотренных таксономических групп отражают общую характеристику биоценозов, ландшафтных особенностей и степень антропогенной трансформации.

Пространственное распределение видового разнообразия пресмыкающихся, птиц и млекопитающих по индексу Шеннона-Уивера представлено на рисунке 2.



*Видовое разнообразие пресмыкающихся.* Полученные величины показателей видового разнообразия свидетельствуют о высоком уровне разнообразия в Жигулевском и Сокском физико-географических районах и низком – в Чагринском и Бугульминском.

*Видовое разнообразие млекопитающих.* Наибольшее значение имеет Жигулевский физико-географический район, на территории которого расположен Жигулевский заповедник и национальный парк «Самарская Лука». Наименьшие значения получили Иргизский, Южно-Сызранский и Кондурчинский районы. Иргизский район характеризуется высокой степенью распаханности территории и присутствием видов млекопитающих, характерных только для степной зоны. Сызранский район обеднен лесными видами. *Видо-*

*вое разнообразие птиц.* Наибольшим видовым разнообразием отличаются районы левобережья с высоким процентом лесистости и наличием значительных площадей пойменных биотопов. Районы Правобережья в силу низкой обводненности менее представлены водными и околоводными видами птиц и менее выделяются видовым разнообразием.

Полученная интегральная оценка является результатом фактического сочетания природных (естественных), биологических и антропогенных компонентов на данном отрезке времени. Оптимальное сочетание этих элементов в рамках допустимого преобразования природной среды является задачей рационального природопользования и устойчивого развития территории.

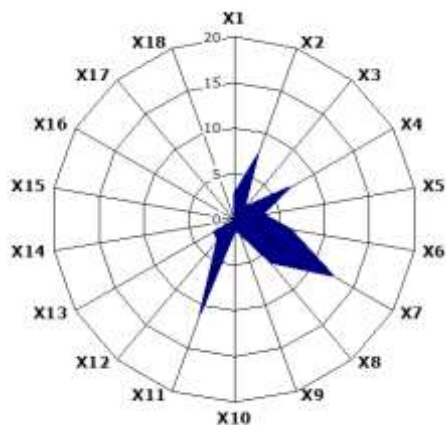
### **3.2. Выявление тенденций изменения биоразнообразия под воздействием антропогенных факторов**

Анализ факторов, влияющих на компоненты экосистем Самарской области, проводили с помощью построения регрессионных уравнений с учетом статистической значимости. Синтезирование моделей производили на основе пространственного распределения полученных значений биоразнообразия и имеющегося в БД REGION набора показателей, характеризующих природные и антропогенные факторы окружающей среды. Использовали, в том числе и комплексные показатели (табл. 1, рис. 3).

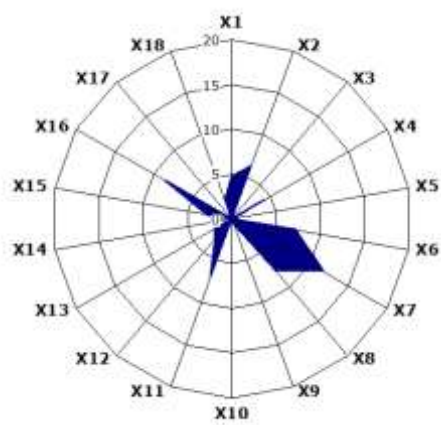
**Таблица 1.**

Список рассматриваемых факторов

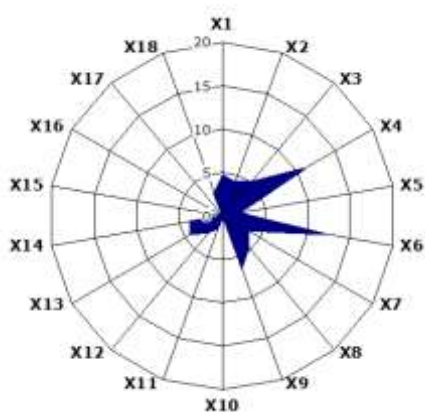
X <sub>1</sub>	Сумма температур за период с $t > 10^{\circ} \text{C}$
X <sub>2</sub>	Осадки, мм
X <sub>3</sub>	Среднесуточная температура в январе, баллы
X <sub>4</sub>	Сумма осадков в зимний период (XI-III), баллы
X <sub>5</sub>	Средняя месячная температура в июле, баллы
X <sub>6</sub>	Сумма осадков за летний период (IV-X), баллы
X <sub>7</sub>	Лесистость, %
X <sub>8</sub>	Относительная глубина эрозионного расчленения (средн.), м
X <sub>9</sub>	Общая рекреационная нагрузка, баллы
X <sub>10</sub>	Обобщенная характеристика промышленной нагрузки, баллы
X <sub>11</sub>	Доля сельскохозяйственных угодий, %
X <sub>12</sub>	Общая сельскохозяйственная нагрузка, баллы
X <sub>13</sub>	$\ln(2 + \text{ущерб окружающей природной среде (платежи)}, \text{млн. руб./км}^2)$
X <sub>14</sub>	Общая антропогенная нагрузка, баллы
X <sub>15</sub>	Обобщенная оценка загрязнения атмосферного воздуха, баллы
X <sub>16</sub>	Агроклиматическое районирование (ГТК)
X <sub>17</sub>	Общая пестицидная нагрузка, баллы
X <sub>18</sub>	Общая транспортная нагрузка, баллы



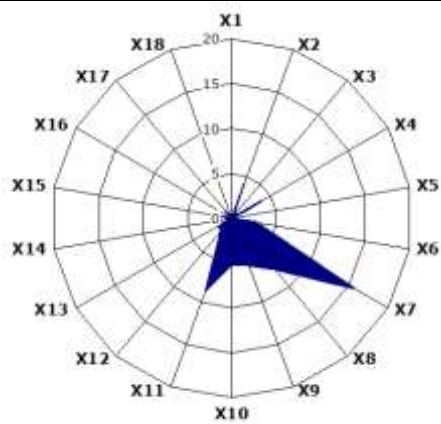
$$I_{\text{Poaceae}} = -9.15 + 0.0013x_1 + 0.008x_2 - 0.42x_3 + 0.32x_4 - 0.15x_5 + 0.28x_6 + 0.078x_7 + 0.013x_8 + 0.036x_9 + 0.1x_{10} + 0.058x_{11} - 0.7x_{12} - 0.42x_{13}$$



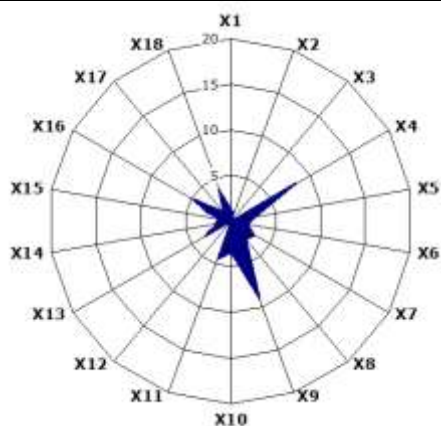
$$I_{\text{Cyperaceae}} = -11.92 + 0.002x_1 + 0.007x_2 + 0.2x_4 + 0.34x_6 + 0.08x_7 + 0.016x_8 - 0.016x_9 + 0.042x_{11} - 0.067x_{12} - 0.41x_{13} + 0.092x_{15} + 0.52x_{16} + 0.056x_{18}$$



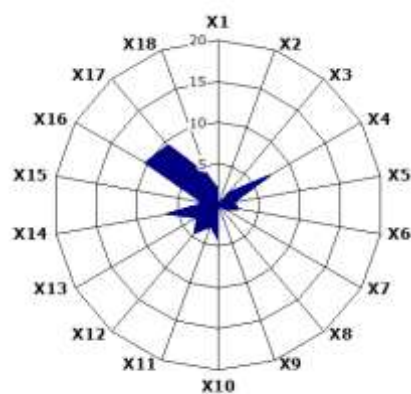
$$I_{\text{Папоротники}} = -8.86 + 0.004x_1 + 0.005x_2 - 0.547x_3 + 0.5x_4 + 0.12x_5 + 0.527x_6 + 0.023x_7 + 0.015x_8 - 0.138x_9 + 0.007x_{11} - 0.085x_{12} - 0.667x_{13} + 0.51x_{14} + 0.071x_{18}$$



$$I_{\text{Пресмыкающиеся}} = -5.21 + x_1 + 0.005x_2 + 0.195x_4 + 0.153x_6 + 0.99x_7 + 0.015x_8 + 0.112x_9 + 0.27x_{10} + 0.049x_{11} - 0.045x_{12} - 0.3x_{13} - 0.67x_{15} - 0.038x_{17}$$



$$I_{\text{Млекопитающие}} = -8.46 + 0.0019x_1 + 0.002x_2 + 0.4x_4 + 0.36x_5 + 0.12x_6 + 0.022x_7 + 0.007x_8 + 0.098x_9 + 0.12x_{10} + 0.02x_{11} - 0.58x_{13} + 0.115x_{14} + 0.049x_{15} + 0.43x_{16} + 0.016x_{17} - 0.078x_{18}$$



$$I_{\text{Птицы}} = 1.9 - 0.001x_1 - 0.19x_3 + 0.287x_4 + 0.0112x_5 - 0.16x_6 + 0.009x_7 + 0.12x_{10} + 0.014x_{11} + 0.6x_{12} - 0.67x_{13} + 0.27x_{14} + 0.034x_{15} + 0.58x_{16} + 0.058x_{17} - 0.046x_{18}$$

Рис. 3. Доли влияния рассмотренных факторов, % и уравнения регрессии

Сочетание введенной информации и полученных балльных оценок с показателями антропогенного воздействия позволило оценить влияние окружающей среды на видовое разнообразие. Определены доли влияния природных и антропогенных факторов.

Результаты показали, что доли влияния природных и антропогенных факторов, выраженные через рассмотренные показатели состояния окружающей среды на видовое разнообразие, различны. Разнообразие рассмотренных групп сосудистых растений в основном определяется природными факторами, а на разнообразие птиц и пресмыкающихся более существенное влияние оказывают антропогенные факторы (табл. 2).

**Таблица 2.**  
Доля влияния факторов на биоразнообразие

Компонент биоресурсов	Природные факторы, %	Антропогенные факторы, %
сем. <i>Poaceae</i>	46,9	19,2
сем. <i>Cyperaceae</i>	50,3	17,4
отд. <i>Polypodiophyta</i>	46,5	20,9
Птицы	26,8	35,5
Млекопитающие	50,8	12,6
Пресмыкающиеся	33,7	26,1

Полученные уравнения регрессии позволяют рассмотреть различные сценарии воздействия на биоразнообразие отдельных составляющих компонент. Так, уменьшение общей сельскохозяйственной и рекреационной нагрузок на 20% каждая, уменьшение ущерба окружающей природной среде – на 14,8 млн. руб./км<sup>2</sup> (20% по логарифмической шкале) увеличивает среднее значение индекса видового разнообразия по всей территории Самарской области. Разнообразие видов семейства *Poaceae* увеличивается на 0,26 балла, папоротникообразных (*Polypodiophyta*) – на 1 балл; сытевых (*Cyperaceae*) на – 0,44 балла. Такая «чувствительность» сосудистых растений, испытывающих антропогенный прессинг, вполне объяснима. Сельскохозяйственная и рекреационная нагрузки являются факторами, дестабилизирующими естественное равновесие в экосистемах, приводящее к синантропизации растительного покрова, а именно к упрощению таксономической структуры и, как следствие, к сокращению флористического разнообразия папоротникообразных и семейства *Cyperaceae*. Однако, не для всех таксономических групп рекреационная нагрузка является фактором, уменьшающим видовое разнообразие. Например, семейство *Poaceae*, в силу эколого-биологических особенностей, увеличивает свое разнообразие прежде всего за счет внедрения адвентивных и рудеральных видов в растительные сообщества.

Увеличение среднего значения индекса видового разнообразия пресмыкающихся по рассматриваемой территории может произойти с уменьшением пестицидной нагрузки, загрязнения атмосферного воздуха, сельскохозяйственной нагрузки. Рассмотрев в качест-

ве управляющих воздействий общую транспортную нагрузку и ущерб окружающей природной среде, получаем увеличение видового разнообразия орнитофауны на 0,46 балла (около 10%) и млекопитающих на 0,23 балла.

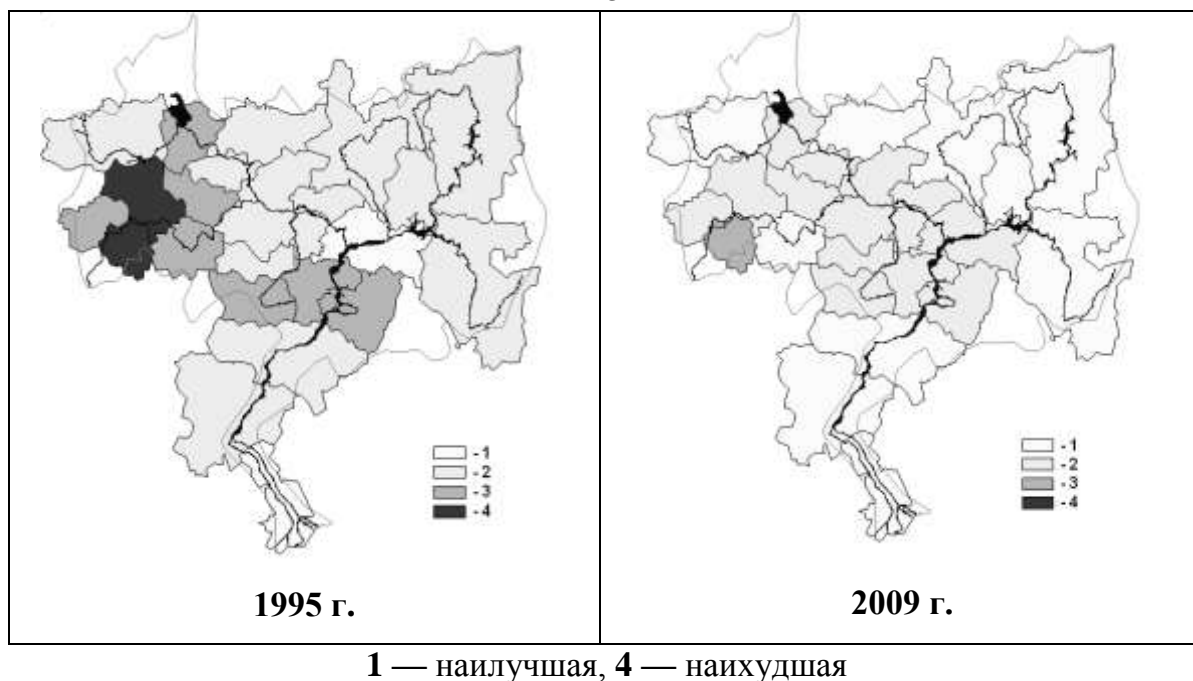
#### **Глава 4. Оценка экологического состояния территории по комплексу показателей с использованием ЭИС REGION**

##### **4.1. Оценка изменений экологического состояния территорий Волжского бассейна**

По ретроспективному набору данных проведена комплексная оценка состояния территории Волжского бассейна на 1995 и 2009 г. по 12 показателям, включающим антропогенные, социальные и экономические факторы:

1. Посевные площади всех с/х культур (тыс.га/тыс. км<sup>2</sup>);
2. Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (млн.м<sup>3</sup>/тыс.чел.);
3. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников (т/чел.);
4. Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием (км/1000 км<sup>2</sup>);
5. Плотность железнодорожных путей (км/10000 км<sup>2</sup>);
6. Коэффициенты младенческой смертности (число детей, умерших в возрасте до 1 года, на 1000 родившихся живыми);
7. Заболеваемость на 1000 человек населения (зарегистрировано заболеваний у больных с диагнозом, установленным впервые в жизни);
8. Численность населения на одного врача (на конец года; человек);
9. Общие коэффициенты рождаемости (число родившихся на 1000 человек населения);
10. Лесовосстановление (% от лесной площади);
11. Производство электроэнергии (тыс.квт-час/чел.);
12. Валовой региональный продукт на душу населения, отнесенный к величине прожиточного минимума.

Результаты проведенной оценки показывают, что в рамках выбранных социально-эколого-экономических показателей произошло улучшение состояния территорий Волжского бассейна (рис. 4). Полученная оценка состояния территории Волжского бассейна демонстрирует одну из возможностей системы REGION для построения комплексного показателя, который может быть использован для характеристики устойчивого развития.



**Рис. 4.** Оценка состояния территории Волжского бассейна по 12 показателям

#### 4.2. Экологическая оценка территорий Волжского бассейна с использованием обобщенной функции желательности

Использование обобщенной функции желательности позволило провести экологическую оценку административных единиц Волжского бассейна. Информационной основой послужили официальные статистические данные за 2004-2007 гг., которые были адаптированы в соответствующие показатели в БД ЭИС REGION. Экологическую оценку проводили по 24 административным единицам территории Волжского бассейна. В расчет было включено 7 показателей, включающих природную, антропогенную, социальную и экономическую составляющую:

«Нежелательные» показатели:

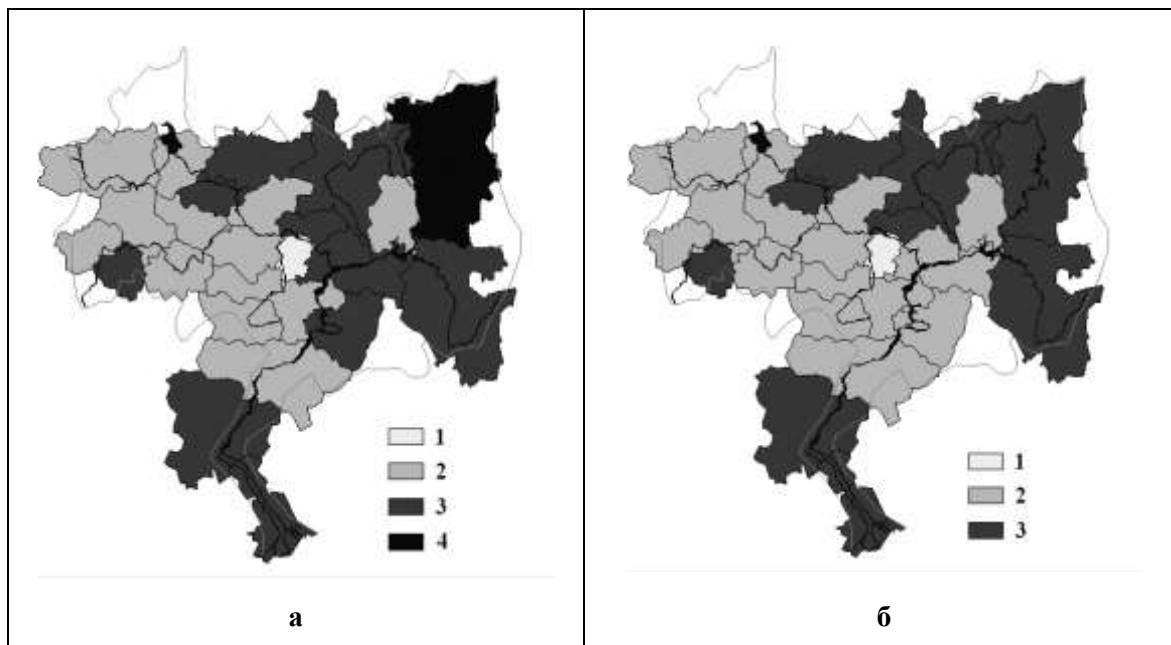
1. Выбросы в атмосферу твердых загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, т/чел. в год (средние значения за 2004-2006 гг.).
2. Выбросы в атмосферу окиси углерода, отходящих от стационарных источников, т/чел. в год (средние значения за 2004-2006 гг.).
3. Объем загрязненных сточных вод, м<sup>3</sup>/чел. в год (средние значения за 2004-2007 гг.).
4. Необезвреженные отходы производства и потребления, т/чел. в год (средние значения за 2006-2007 гг.).
5. Число зарегистрированных экологических преступлений на одного жителя (средние значения за 2004-2007 гг.).

«Желательные» показатели:

6. Площадь зеленых массивов и насаждений в городах на одного городского жителя, м<sup>2</sup> (средние значения за 2004-2007 гг.).

7. Текущие затраты на охрану окружающей среды в 2007 г., тыс. руб./чел в год.

Выделены зоны, соответствующие «хорошему», «удовлетворительному», «плохому» и «очень плохому» состояниям (рис. 5) по значениям обобщенной функции желательности  $D_5$ , основанной только на «нежелательных» показателях, и  $D_7$ , учитывающей еще и «желательные» показатели.



1 — хорошая; 2 — удовлетворительная; 3 — плохая; 4 — очень плохая

**Рис. 5.** Экологическая оценка состояния административных единиц территории Волжского бассейна (а —  $D_5$ , б —  $D_7$ )

Проведенный анализ значений обобщенной функции желательности ( $D_7$ ) территории Волжского бассейна свидетельствует, что наиболее благополучная экологическая обстановка по комплексу выбранных показателей наблюдается в Чувашской республике, а самая неблагополучная – в Пермском крае, Тульской и Ивановской областях.

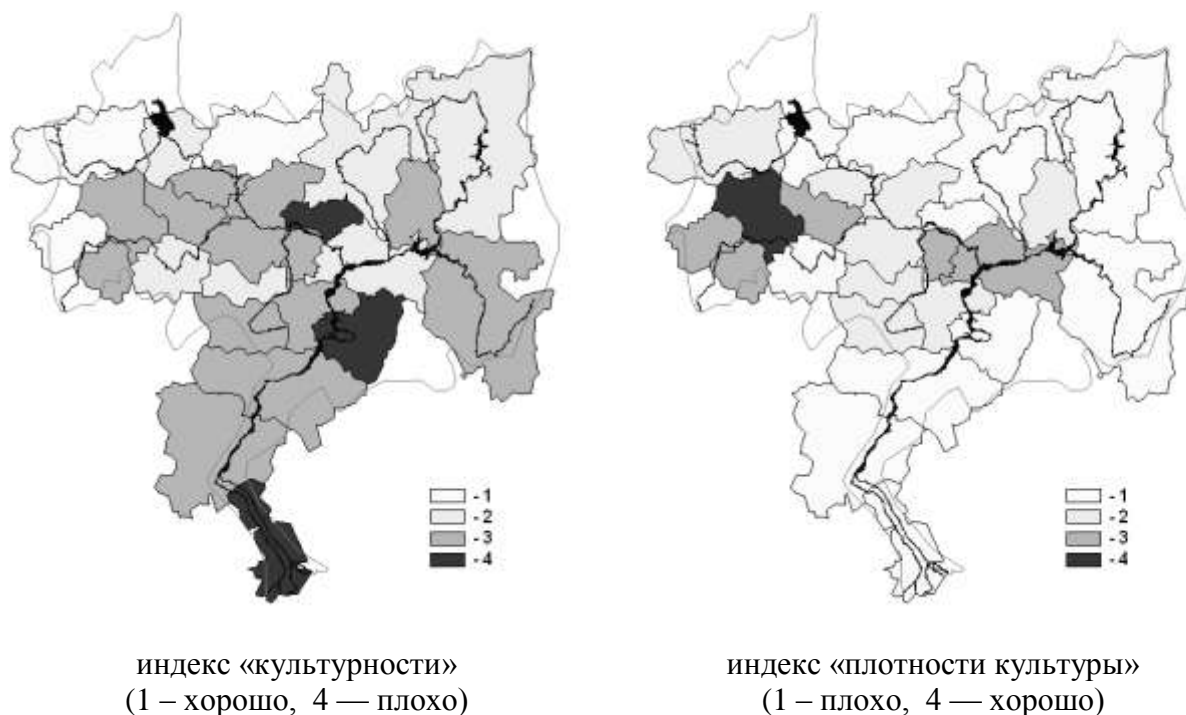
#### 4.3. Экология «культуры» на примере территории Волжского бассейна

Обсуждается один из аспектов достижения устойчивого развития крупной территории – эколого-нравственно-этическое «обновление» человеческой популяции. С помощью экспертной информационной системы REGION проведен анализ распределения по территории Волжского бассейна учреждений образования, здравоохранения, культуры (музеи, театры) и спорта. То есть, приведена обобщенная картина «эколого-нравственного потенциала» территории в пространстве факторов, которые с той или иной степенью условности можно отнести к характеристикам «экологии культуры».

Рассматривалось два варианта: распределение учреждений, отнесенных на 1000 человек населения (обобщенный индекс «культурности») и распределение учреждений, отнесенных на 1000 км<sup>2</sup> (обобщенный индекс плотности «культуры»). При построении интегральных индексов выбранные показатели нормировались методом линейного масшта-

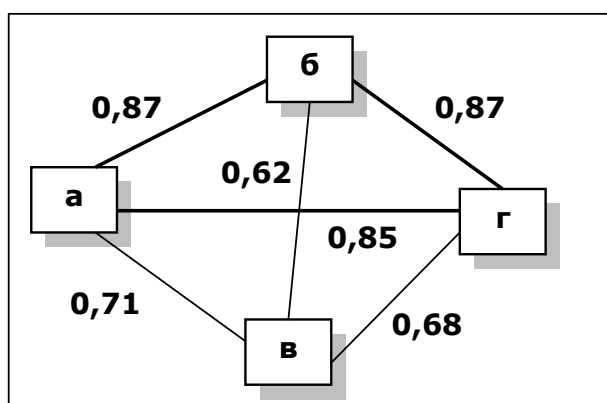


бирования по отношению к заданным минимальным и максимальным значениям шкалы и суммировались (рис. 6).



**Рис. 6.** Распределение значений индексов по территории Волжского бассейна

Полученный результат по индексу «культурности» отражает плохую обстановку в Самарской, Астраханской областях и в Республике Марий Эл. Более хорошая обстановка характерна для Костромской, Тверской, Ярославской областей и Республики Мордовия.



**Рис. 7.** Значения коэффициентов линейной корреляции между числом учреждений на тыс. км<sup>2</sup> на территории Волжского бассейна (учреждения: а — здравоохранения, б — образования, в — культуры, г — спорта)

Обобщенный индекс плотности «культуры» демонстрирует лидирующее положение Московской области. Положение «аутсайдеров» занимают Кировская, Астраханская, Волгоградская, Саратовская области, Республика Башкортостан, что позволяет установить приоритеты в управлении достижения устойчивого развития территориями Волжского бассейна. Следует также отметить, что значения параметров этого индекса тесно связаны линейной зависимостью (см. рис. 7).

Система REGION позволила определить зависимость обобщенных показателей (индексов «культурности» и «плотности культуры») от некоторых факторов, прямо или опосредованно характеризующих социо-

экономическую и экологическую составляющих устойчивого развития территорий Волжского бассейна.

Самыми значимыми для индекса «культурности» оказались экологические параметры (почти 19%) и фактор антропогенного загрязнения (более 38%). Интерпретация полученных результатов затруднена, поскольку, скорее всего, мы имеем дело с комплексным влиянием факторов. Для индекса «плотности культуры» основными факторами стали доступность объектов культуры, спорта и пр. (прямой вклад этого фактора в общее влияние – более 78%) и инвестиции в объекты охраны окружающей среды (более 4%).

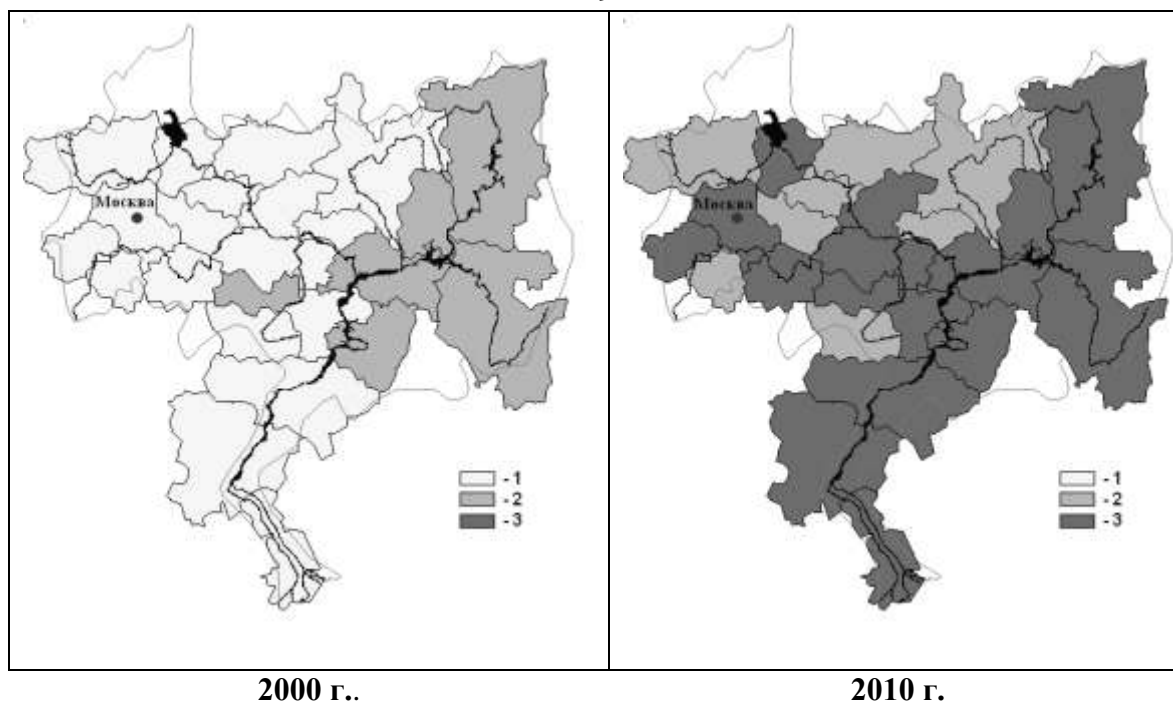
Таким образом, можно констатировать, что ЭИС REGION дает в руки исследователя новый и достаточно адекватный инструмент, позволяющий содержательно анализировать не только эколого-экономическую компоненту устойчивого развития, но и социокультурную («эколого-нравственный потенциал» территории).

## **Глава 5. Статистический анализ пространственно-временного распределения индексов и индикаторов устойчивого развития**

### **5.1. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала на примере Волжского бассейна**

Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) отражает социально-экономическое развитие (экономическая результативность, состояние физического и социального здоровья населения, качество трудовых ресурсов, профессиональный и культурный потенциал населения) и обладает собственной качественной характеристикой. Он является интегральным показателем из трех составляющих: индекса ожидаемой продолжительности жизни, индекса образования (средняя продолжительность обучения и ожидаемая продолжительность обучения), индекса дохода.

Проанализированное изменение ИРЧП за 10 лет (2000-2010 гг.) территорий Волжского бассейна (рис. 8) позволяет сделать следующие выводы: ИРЧП по стране в целом вырос на 10%; для территорий Волжского бассейна г. Москва сохранил лидирующее положение (1 место в стране и рост на 7,8%), а Ивановская область осталась на последнем месте (77 в стране; рост на 11%); Нижегородская, Ярославская, Челябинская области практически также сохранили свое положение «в середине таблицы» (20-е, 30-е места) при среднем росте ИРЧП, как и по стране в целом, на 10%; другие территории демонстрируют весьма разнонаправленные изменения (например, Астраханская область с 28 места «перешла» на 44, Самарская область с 11 опустилась на 25 место, а Саратовская область с 38 поднялась на 28 место).



1 – 0,700-0,755; 2 – 0,755-0,809; 3 – более 0,809  
К градации 3 относится только г. Москва

**Рис. 8.** Распределение ИРЧП по территории Волжского бассейна в 2000 и 2010 гг.

Были получены уравнения множественной линейной регрессии зависимости ИРЧП от некоторых факторов, имеющихся в базе данных ЭИС REGION, а также проведена проверка существенности влияния исследуемых факторов (табл. 3).

Накопленная сумма удельного влияния факторов в обоих случаях оказалась достаточно высокой (почти 75% и 66%). Только два фактора ( $X_3$  и  $X_7$ ) достоверно вошли в оба уравнения регрессии. В 2000 г. «социальные» факторы ( $X_2$  и  $X_7$ ) дали 41,3% общего варьирования, «экологические» ( $X_3$ ,  $X_4$  и  $X_5$ ) – 32,4%; в 2010 г. к «социальным» ( $X_7$ ; 18,2%) и «экологическим» факторам ( $X_3$ ; 4,1%) добавились «экономические» ( $X_1$  и  $X_6$ ), которые дали 43,6% общего варьирования.

Столь заметный разброс значений позволяет сделать вывод о том, что, во-первых, региональный ИРЧП (для Волжского бассейна) существенно менее устойчив, чем показатель для страны в целом и, во-вторых, что ИРЧП в большей степени является социально-экономическим показателем и нуждается в «экологической корректировке».

## Регрессионный анализ ИРЧП в ЭИС REGION

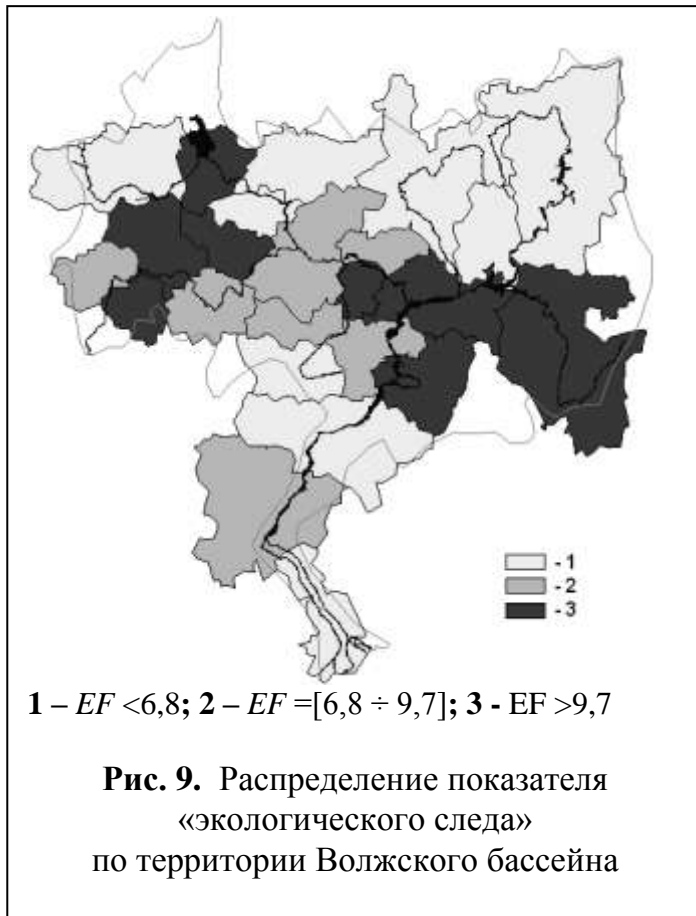
Факторы воздействия, включенные в регрессионную модель	2000 г.		2010 г.	
	коэффициенты регрессии	удельный вес влияния фактора (%)	коэффициенты регрессии	удельный вес влияния фактора (%)
Свободный член	0,661		0,735	
Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием (км/1000 км <sup>2</sup> ; 100 * X <sub>1</sub> )			0,004	3,1
Заболеваемость на 1000 чел. населения с впервые установленным диагнозом (100 * X <sub>2</sub> )	-0,005	4,2		
Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные источники (млн. м <sup>3</sup> /тыс. чел.; X <sub>3</sub> )	0,103	6,8	0,129	4,1
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников (т/чел.; X <sub>4</sub> )	0,131	18,3		
Лесовосстановление (% от лесной площади; X <sub>5</sub> )	0,046	7,3		
Посевные площади всех с/х культур (тыс. га/тыс. км <sup>2</sup> ; X <sub>6</sub> )			1,193	40,5
Общий коэффициент рождаемости (X <sub>7</sub> )	0,011	37,1	0,006	18,2
Коэффициент множественной корреляции		0,883		0,855
Накопленная сумма удельного влияния факторов (%)		73,7		65,9

## 5.2. Показатель «экологического следа» и его взаимосвязь с другими индексами устойчивого развития

Представления об «экологическом следе» (ecological footprint, EF) были сформулированы в 1992 г. канадским экологом и экономистом Вильямом Ризом. «Экологический след» определяется как мера воздействия человека на среду обитания, которая позволяет рассчитать размеры прилегающей территории, необходимой для производства потребляемых нами экологических ресурсов и поглощения отходов.

Нами проведена оценка «экологического следа» для основных территорий Волжского бассейна (рис. 9) путем суммирования баллов показателей: водная поверхность (%), посевные площади с/х культур (104 га/км<sup>2</sup>), лесистость (%), доля ООПТ (%); автомобильные дороги (км/1000 км<sup>2</sup>), железные дороги (км/1000 км<sup>2</sup>), выбросы в атмосферу (т/км<sup>2</sup>), сброс загрязненных вод (тыс. м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>), образование токсичных отходов (т/км<sup>2</sup>). «Экологический след» уже превышает биологическую емкость Земли в среднем в 1,5 раза; в России – почти в 2,5 раза, а в самом напряженном и антропогенно нагруженном регионе страны – Волжском бассейне – в 4,3 раза.

На территории Волжского бассейна только Кировская и Костромская области имеют  $EF$ , который меньше общероссийского; заметно превосходят его по этому показателю (более чем в 2 раза) Московская, Самарская, Тульская области, республики Чувашия и Татарстан. Девять территорий (из 24, включенных в анализ; 37,5%) имеют экологический след больше, чем «средний по США», что свидетельствует о явной антропогенной перегруженности этих территорий.



**Рис. 9.** Распределение показателя «экологического следа» по территории Волжского бассейна

С помощью ЭИС REGION рассмотрена зависимость параметра  $EF$  от других индексов устойчивого развития: ИРЧП (раздел 5.1); обобщенных функций желательности  $D_5$  и  $D_7$  (раздел 4.2); индекса соотношения «антропогенной нагрузки» и «экологической емкости»  $G$  (Розенберг, 2009); индекса антропогенной преобразованности территории  $I_{ан}$ ; ожидаемой продолжительности предстоящей жизни населения  $X_2$ ; заболеваемость населения (на 1000 чел. населения, зарегистрировано

больных с диагнозом, установленным впервые в жизни)  $PM$ .

В таблице 4 приведены коэффициенты линейной корреляции оценки экологического следа для территорий Волжского бассейна и 7-ми вышеупомянутых показателей устойчивого развития этих же регионов.

**Таблица 4.**

Достоверные (90% уровень значимости) корреляционные связи экологического следа ( $EF$ ) территорий Волжского бассейна с некоторыми индексами устойчивого развития

	<b>ИРЧП</b>	<b><math>D_5</math></b>	<b><math>D_7</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>I_{ан}</math></b>	<b><math>X_2</math></b>	<b><math>PM</math></b>
<b><math>EF</math></b>	0,32	0,38	0,45	-0,55	-	-	-

Наиболее тесная связь  $EF$  наблюдается с индексом  $G$ , а также функцией желательности  $D_7$ , которые в равной степени учитывают и природные компоненты, и антропогенную нагрузку. С другой стороны,  $EF$  напрямую не связан с общей заболеваемостью населения ( $PM$ ), что не позволяет использовать его в качестве «универсального» индекса.

Как и любой индекс, который заведомо упрощает ситуацию (попытка охарактеризовать сложную систему одним числом, что противоречит системологическим представ-

лениям), экологический след весьма неоднозначен, но его применение в мире довольно широко распространено.

Таким образом, на примере Волжского бассейна показано, что «экологический след» хорошо «встраивается» в систему индексов устойчивого развития территорий, что позволяет рекомендовать его к более широкому использованию у нас в стране.

### 5.3. Интегральная оценка индексов устойчивого развития территорий Волжского бассейна

Проведена интегральная оценка территории Волжского бассейна по комплексу показателей, включающему известные индексы и индикаторы и полученные с помощью ЭИС REGION индексы (табл. 5). Исходное подмножество не претендует на всеобъемлющий охват всех характеристик и параметров СЭЭС, однако удовлетворяет требованию представленности по трем составляющим.

Таблица 5.

Список рассматриваемых индексов и индикаторов

<b>I<sub>1</sub></b>	Доля особо охраняемых территорий
<b>I<sub>2</sub></b>	Коэффициент младенческой смертности
<b>I<sub>3</sub></b>	Общая заболеваемость населения
<b>I<sub>4</sub></b>	Оценка показателя «экологического следа»
<b>I<sub>5</sub></b>	Экологическая оценка территорий Волжского бассейна с использованием обобщенной функции желательности
<b>I<sub>6</sub></b>	Индекс преобразованности территории
<b>I<sub>7</sub></b>	Модификация <b>I<sub>6</sub></b> с учетом территорий максимальной сохранности
<b>I<sub>8</sub></b>	Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП)
<b>I<sub>9</sub></b>	Индекс «плотности культуры»

Доля особо охраняемых территорий (**I<sub>1</sub>**) рассматривается как индикатор сохранения основных компонентов естественных экосистем и их биоразнообразия. Индикаторы (**I<sub>2</sub>**, **I<sub>3</sub>**) косвенно характеризуют «качество» жизни человеческой популяции, отражают в основном социально-экономическую составляющую, а также «комфортность» окружающей среды. В качестве показателя «экологического следа» (**I<sub>4</sub>**) в анализ была включена полученная оценка (раздел 5.2). «Нежелательные» воздействия в сочетании с «желательными» мероприятиями (текущие затраты на охрану окружающей среды; площадь зеленых массивов и насаждений в городах) учтены в индексе **I<sub>5</sub>** (раздел 4.2).

Индекс (**I<sub>6</sub>**) преобразованности территории (Иванова О.И., 1986) учитывает площади, занятые дорогами, сельскохозяйственными угодьями, пастбищами, сенокосами, лесами с соответствующими рангами (R), которые можно интерпретировать как «весовые» коэффициенты. В расчете этого индекса по территории Волжского бассейна учитывали следующие показатели: доля пашни (R=2), пастбищ (R=3), сенокосов (R=4), автомо-

бильных и железных дорог ( $R=1$ ). Использование лесов в хозяйственных целях учитывали как площадь утраченных лесов за последние 300 лет ( $R=5$ ).

Индекс  $I_7$  является модификацией  $I_6$ . Здесь мы не включали долю лесов в связи с различными природно-климатическими условиями отдельных регионов Волжского бассейна. Добавлено еще одно слагаемое ( $R=10$ ) — доля природных территорий максимальной сохранности.

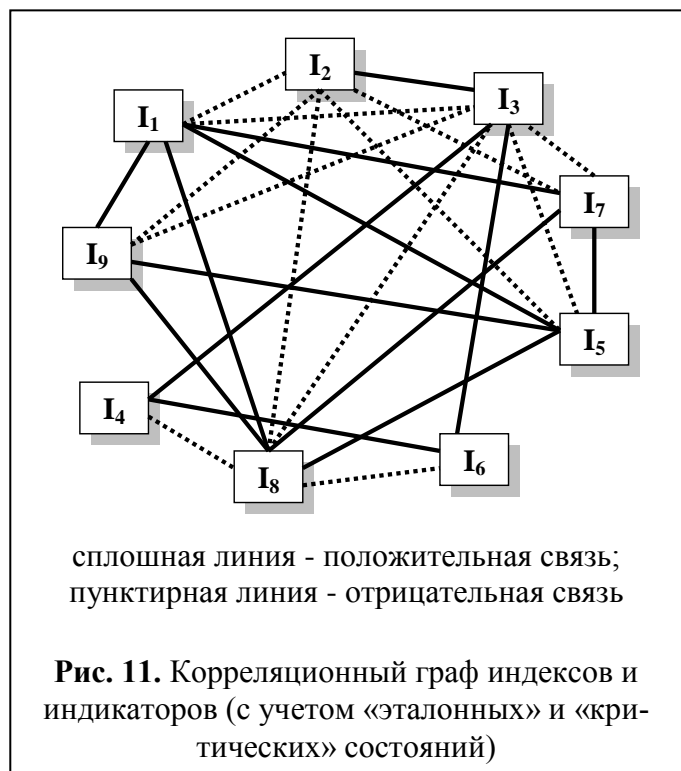
Индекс развития человеческого потенциала ( $I_8$ ) и индекс «плотности культуры» ( $I_9$ ) характеризуют социо-культурный потенциал (раздел 4.3).

Для интегральной оценки использовались корреляционный и факторный анализ, а также обобщенная функция желательности (рис. 10).



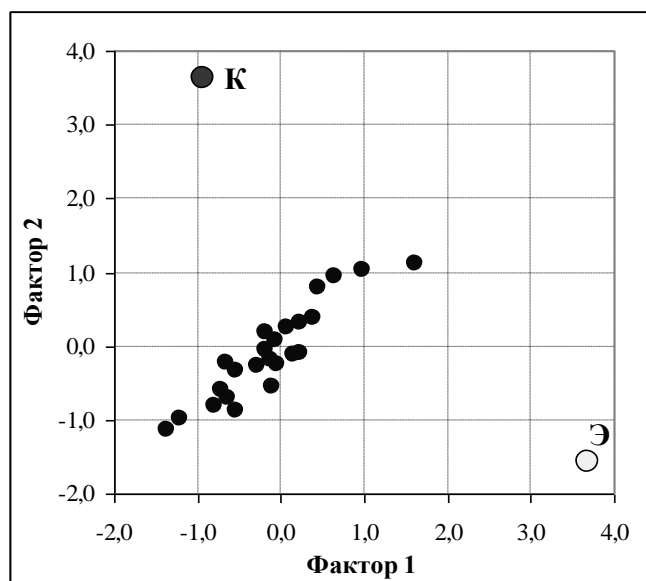
Рис. 10. Схема интегральной оценки

Для интегральной оценки социо-эколого-экономического состояния территорий введены еще два объекта — «критическое» (**К**) и некоторое «эталонное» (**Э**) состояния, и зафиксированы значения для каждого рассматриваемого индекса и индикатора.



Первоначально с учетом введенных объектов (**Э** и **К**) были определены величины корреляции индексов и индикаторов. Положительные и отрицательные связи (статистически значимые коэффициенты корреляции) индексов и индикаторов (рис. 11) показывают «внутреннюю» взаимозависимость рассматриваемой совокупности. Индикатор **I<sub>3</sub>** (общая заболеваемость населения) и индекс **I<sub>8</sub>** (ИРЧП), которые связаны со всеми анализируемыми индексами и индикаторами (8 связей), можно рассматривать как ключевые.

В пространстве двух главных компонент, объясняющих 72,6% дисперсии, фактор 1, задаваемый главным образом множеством  $\{I_1, I_5, I_8, I_9\}$ , можно условно интерпретировать как «позитивную» составляющую устойчивого развития, а фактор 2, представленный множеством  $\{I_3, I_4, I_6\}$ , как «негативную». Расположение административных единиц в пространстве двух главных компонент представлено на рисунке 12 и 13.



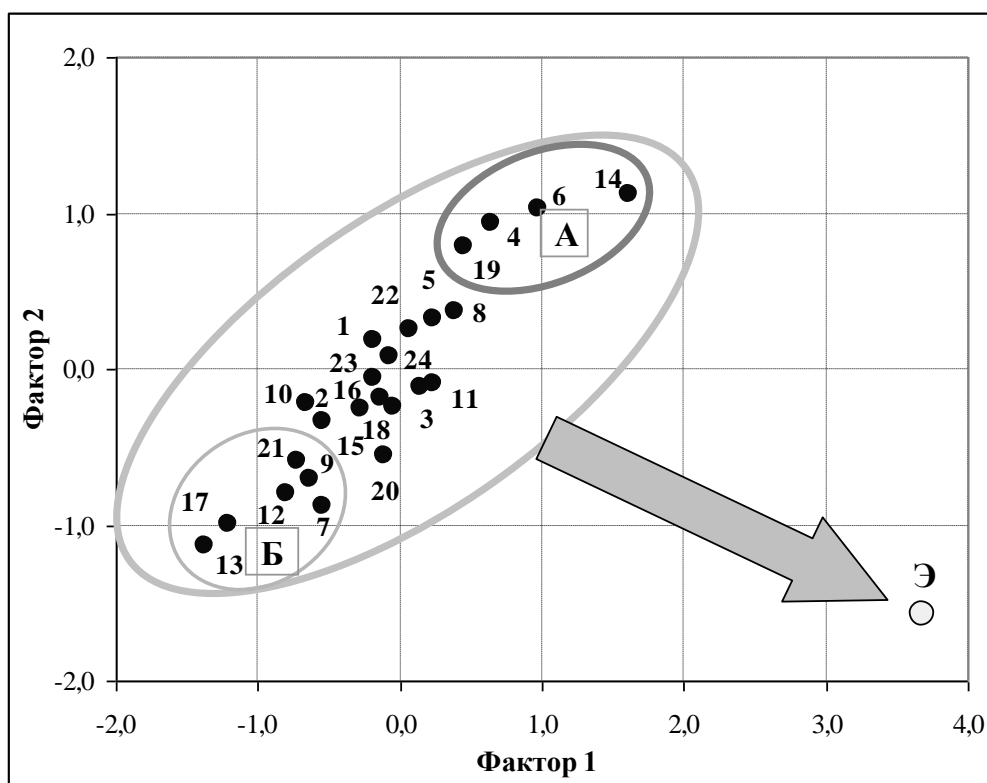
**К** — критическое состояние;

**Э** — эталонное состояние

**Рис. 12.** Расположение административных единиц Волжского бассейна в пространстве двух главных компонент



Приближение к «эталонному» состоянию в силу разного «местоположения» административных единиц требует различных видов стратегий (выбор управленческих решений), которые приведут к улучшению состояния сразу по комплексу индексов и индикаторов.

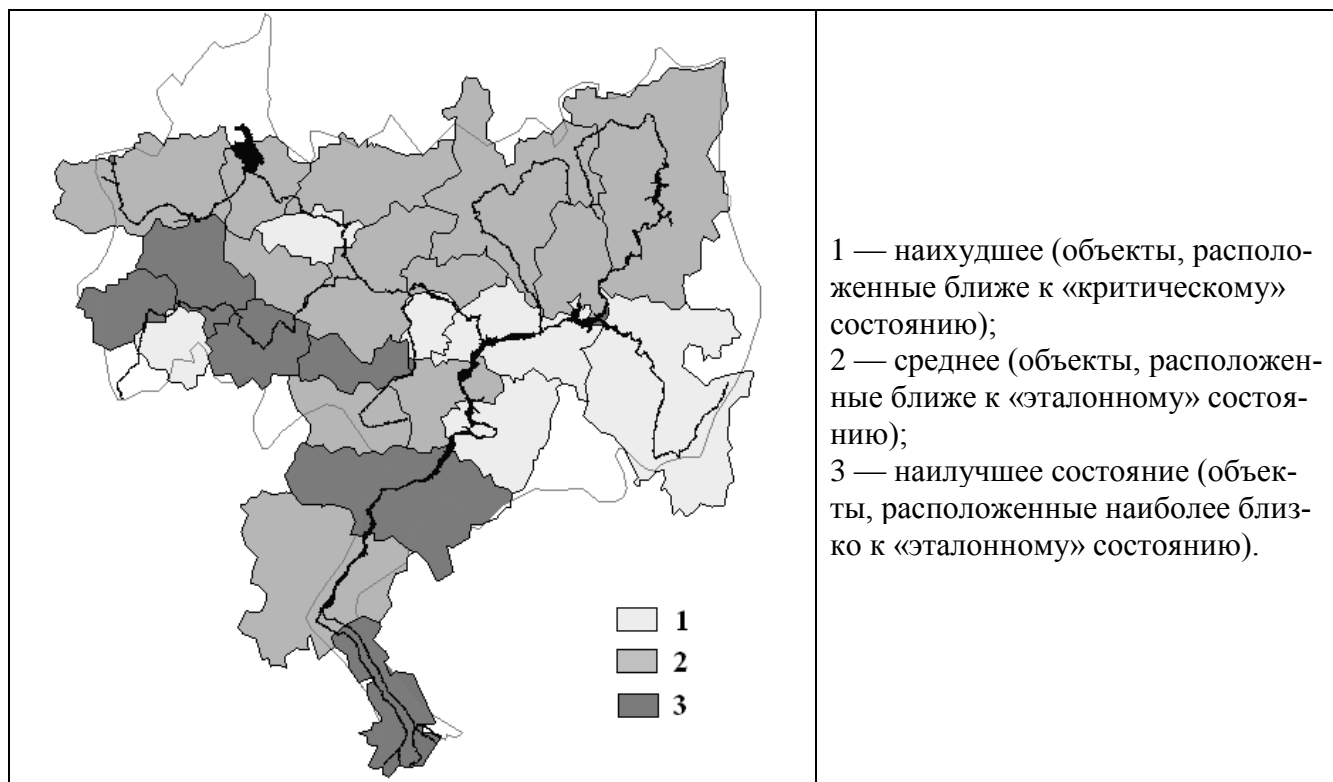


Цифрами обозначены административные единицы (Республики: 1 - Башкортостан, 2 - Марий Эл, 3 - Мордовия, 4 - Татарстан, 5 - Удмуртия, 6 - Чувашия; области: 7 - Астраханская, 8 - Владимирская, 9 - Волгоградская, 10 - Ивановская, 11 - Калужская, 12 - Кировская, 13 - Костромская, 14 - Московская, 15 - Нижегородская, 16 - Пензенская, 17 - Пермский край, 18 - Рязанская, 19 - Самарская, 20 - Саратовская, 21 - Тверская, 22 - Тульская, 23 - Ульяновская, 24 - Ярославская); стрелкой показан «путь к эталону»; А, Б — территориальные совокупности по типам стратегии развития

**Рис. 13.** Ординация территорий Волжского бассейна

Из проведенного анализа по выбранным индексам и индикаторам просматривается две стратегии управления. В первую группу входят Республики Татарстан и Чувашия, Московская и Самарская области. Этим регионам следует особое внимание уделять финансовым вложениям в улучшение «качества жизни» путем стабилизации и снижения степени антропогенной нагрузки на территорию, например, улучшить режим охраны существующих ООПТ и увеличить количество заказников, памятников природы и др. (стратегия А). Второй группе (Астраханская, Волгоградская, Кировская, Тверская и Костромская области и Пермский край) целесообразно делать вложения финансов и ресурсов в образование населения, увеличивать среднюю продолжительность жизни, увеличивать доходы населения (стратегия Б).

В результате использования евклидовой метрики (расстояние до объектов Э и К) в полученном пространстве двух главных компонент продемонстрирована слабо выраженная дифференциация регионов. Однако можно условно выделить три категории (рис. 14).



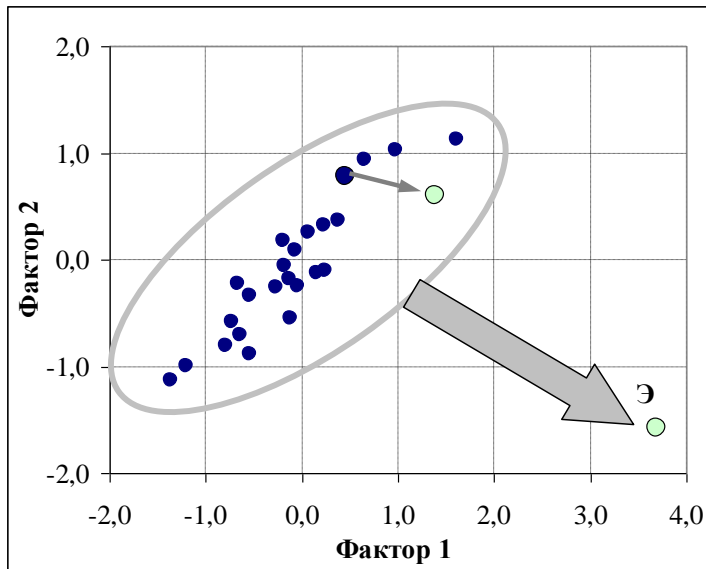
**Рис. 14.** Оценка устойчивого развития региональных социо-эколого-экономических систем Волжского бассейна

Расчет обобщенной функции желательности по совокупности индексов и индикаторов  $\{I_2, I_4, I_6, I_7, I_8, I_9\}$  показал, что все региональные единицы относятся к группе «удовлетворительного» состояния. Это подтверждает уже полученный выше результат, иллюстрируемый рисунком 12.

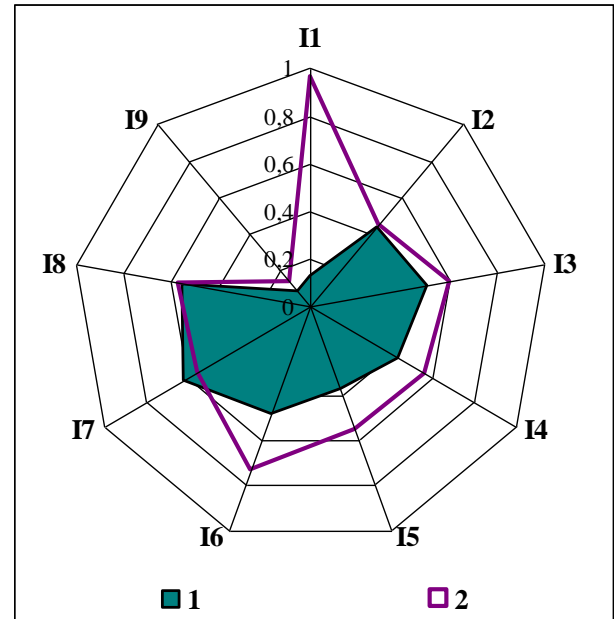
Таким образом, интегральная оценка взятых в рассмотрение индексов и индикаторов устойчивого развития показал схожесть в оценке состояний административных единиц Волжского бассейна. Это, в первую очередь, отражает примерно одинаковое социо-эколого-экономическое развитие, задаваемое едиными политико-экономическими решениями. По небольшим различиям выделено три группы регионов (рис. 13). Для каждого отдельно взятого региона важно выработать свою индивидуальную стратегию устойчивого развития.

Сценарное развитие СЭЭС Самарской области на основе полученной в ЭИС REGION модели показывает, что при реализации стратегии А, включающей, например, увеличение площади ООПТ до 30%, приводит к изменению «местоположения» указанного региона (рис. 15). При этом должно наблюдаться уменьшение заболеваемости ( $I_3$ ) на

10%. Также уменьшится величина «экологического следа» (на 19%), незначительно увеличится ИРЧП (рис. 16).



**Рис. 15.** Изменение «местоположения» Самарской области при увеличении доли ООПТ до 30%



**Рис. 16.** Прогноз изменений величин индексов и индикаторов  
1 – текущее состояние; 2 – прогноз изменений; в центре диаграммы – критическое состояние, внешняя граница – эталонное состояние; значения индексов нормированы на единичный интервал

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ состояния СЭЭС территорий Волжского бассейна с помощью методов ИЭС REGION позволил провести комплексную оценку состояния СЭЭС территорий разного масштаба. ИЭС REGION, частью которой являются базы данных пространственно распределенной информации, включает в себя инструменты для комплексной экологической оценки состояния региона. Это представляется очень важным для принятия управленческих решений в рамках концепции устойчивого развития, которое подразумевает разумный баланс собственно социо-экономического развития системы и поддержания экологического равновесия территории.

Информационно-статистическая обработка и построение интегральных показателей позволяют ранжировать участки территории с позиции заданных исследований, выявлять различия и визуализировать как «благополучные» зоны, так и «нестабильные». Использование прогнозных моделей способствует рассмотрению различных сценариев дальнейшего развития СЭЭС территорий и их отдельных параметров.

Это позволило, на основе методов ИЭС REGION, направленных на анализ состояния СЭЭС, решить поставленные в исследовании задачи и сделать следующие **выводы**:

1. Проанализировано распределение показателей биоразнообразия на примере Самарской области. Построены уравнения статистически значимых зависимостей компонентов биоты от антропогенных и природных факторов. Показано, что видовое разнообразие растений в основном определяется природными факторами (46-50%), а на разнообразии птиц и пресмыкающихся более существенное влияние оказывают антропогенные факторы (26-23%). Проведен сценарный анализ для случаев (уменьшения общей сельскохозяйственной, рекреационной, пестицидной, транспортной нагрузок, уменьшение ущерба окружающей природной среде), при которых увеличивается среднее значение индекса видового разнообразия по всей территории Самарской области.

2. Проведена социо-эколого-экономическая оценка состояния территории Волжского бассейна на основе синтезированных в ЭИС REGION комплексных показателей. Комплексная оценка на 1995 и 2009 годы по 12 показателям, включающим антропогенные, социальные и экономические факторы, демонстрирует улучшение состояния территорий Волжского бассейна. Оценка, полученная с помощью функции желательности, свидетельствует, что наиболее благополучная экологическая обстановка имеет место в Чувашской республике, а самая неблагополучная – в Пермском крае, Тульской и Ивановской областях. Приведена обобщенная картина «эколого-нравственного потенциала» территории в пространстве факторов, которые с той или иной степенью условности можно отнести к характеристикам «экологии культуры».

3. Получены уравнения множественной регрессии зависимости ИРЧП от экологических и социальных факторов для 2000 и 2010 годов. Только два фактора (загрязнение воды и коэффициент рождаемости) достоверно вошли в оба уравнения регрессии. В 2000 г. «социальные» факторы (заболеваемость и рождаемость) дали 41,3% общего варьирования, «экологические» (загрязнение воды, атмосферы и лесовосстановление) – 32,4%. В 2010 г. к «социальным» (рождаемость, 18,2%) и «экологическим» факторам (загрязнение воды, 4,1%) добавились «экономические» (плотность автомобильных дорог и посевные площади сельскохозяйственных культур), которые дали 43,6% общего варьирования. Проведена оценка по показателю «экологического следа» и показана его взаимосвязь с другими индексами устойчивого развития. Наиболее тесная связь наблюдается с индексом соотношения «антропогенной нагрузки» и «экологической емкости», а также с ранее полученной оценкой по функции желательности, которые в равной степени учитывают и природные компоненты, и антропогенную нагрузку.

4. Предложена и проведена интегральная оценка территории Волжского бассейна на основе 9 индексов и индикаторов устойчивого развития. Наблюдается схожесть в оценке состояний административных единиц Волжского бассейна, что, в первую очередь,

отражает примерно одинаковое социо-эколого-экономическое развитие, задаваемое едиными политико-экономическими решениями. По небольшим различиям выделено три группы регионов с различным типом стратегий дальнейшего развития, причем для каждого отдельно взятого региона важно выработать свою индивидуальную стратегию устойчивого развития.

5. Сценарное развитие социо-эколого-экономической системы Самарской области на основе полученной в ЭИС REGION модели показывает, что при реализации стратегии, включающей, например, увеличение площади ООПТ до 30% приводит к уменьшению заболеваемости на 10%. Уменьшится также величина «экологического следа» (на 19%), незначительно увеличится ИРЧП.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи в изданиях, определенных ВАК России для публикации результатов научных исследований:**

1. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С., Шитиков В.К. Экспертная система экологического состояния бассейна крупной реки // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т. 5, № 2. – С. 287-294.

2. Шитиков В.К., **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С. Методы синтеза обобщенных показателей для экологического картографирования территории // Известия Самарского научного центра РАН. – 2005. – Спец. вып. "Актуальные проблемы экологии". Вып. 4. – С. 74-83.

3. **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С. Некоторые подходы к оценке экологического состояния территории // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2005. – Спец. вып. "ELPIT-2005". Т. 2. – С. 265-268.

4. Розенберг Г.С., Лифиренко Н.Г., **Костина Н.В.**, Лифиренко Д.В. Определение влияния социо-эколого-экономических факторов на смертность от новообразований // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 1-6. – С. 1182-1185.

5. Розенберг Г.С., Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.**, Саксонов С.В., Лифиренко Н.Г. Прогноз первичной биологической продуктивности на территории Волжского бассейна в условиях сценария "глобального потепления климата" // Успехи современной биологии. – 2009 – Т.129., № 6 – С. 550-564.

6. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С., Шитиков В.К. Экспертная эколого-информационная система REGION для бассейна крупной реки // Информационные ресурсы России. – 2010. – № 4. – С. 7-13.

7. Розенберг Г.С., **Костина Н.В.**, Лифиренко Н.Г., Лифиренко Д.В. Экологическая оценка территории Волжского бассейна с использованием обобщенной функции желательности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1-9. – С. 2324-2327.

8. **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг Г.С., Пыршева М.В. Межрегиональное районирование антропогенно нарушенных территорий // Регион: Экономика и социология. – 2012. – № 2 (74). – С. 227-238.

9. **Костина Н.В.** Экспертная система REGION для оценки изменений состояния социо-эколого-экономических систем Волжского бассейна // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 110-114.

10. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С., Хасаев Г.Р., Шляхтин Г.В. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала (на примере Волжского бассейна) // Известия Саратовского университета. Серия Химия. Биология. Экология. – 2014. – Выпуск 3, Т. 14. – С. 54-70.

11. **Костина Н.В.**, Розенберг А.Г., Розенберг Г.С., Хасаев Г.Р. Показатель экологического следа и его взаимосвязь с другими индексами устойчивого развития экономики региона // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. – № 9(119). – С.34-41.

12. **Костина Н.В.** Информационная система REGION: 25 лет развития и практического применения // Известия Самарского Научного центра РАН. – 2015. – Т.17, № 4. – С. 15-24.

13. Иванова А.В., **Костина Н.В.**, Рухленко И.А. Зависимость видового богатства флоры от степени антропогенной трансформации территории (на примере Самарской области) // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. – 2015. – №4 (19). – С. 294-298.

14. Иванова А.В., **Костина Н.В.** Семейственный спектр флоры как индикатор экологических условий территории (на примере Самарской области) // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 253-258.

15. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С., Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., Пыршева М.В. «Мозговой штурм» индексов и индикаторов устойчивого развития (на примере территорий Волжского бассейна) // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т.11, N2. – С.32-41.

#### **Свидетельство о государственной регистрации базы данных:**

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620402 от 27 февраля 2015 г. «Экспертно-информационная база данных состояния социо-эколого-экономических систем разного масштаба REGION (ЭИБД "REGION")» / Г.С. Розенберг, В.К. Шитиков, **Н.В. Костина**, Р.С. Кузнецова, Н.Г. Лифиренко, М.А. Костина, Г.Э. Кудинова, А.Г. Розенберг. – 1 с.

#### **Монографии и разделы в коллективных монографиях:**

16. **Костина Н.В.** REGION: экспертная система управления биоресурсами. – Тольятти: СамНЦ РАН, – 2005. – 132 с.

17. **Костина Н.В.** Анализ состояния и сценарии развития социо-эколого-экономических систем территорий разного масштаба с помощью экспертной информационной системы REGION / Под ред. чл.-корр. РАН Г.С.Розенберга: Монография. – Тольятти: Кассандра, – 2015. – 200 с.

18. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., **Костина Н.В.** Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы «VOLGABAS») // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI: Учебное пособие. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, – 2006. – С. 147-250.

19. **Костина Н.В.** Эколого-информационная система большого региона как основа экологического мониторинга // Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами. – Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2003. – С. 152-158.

20. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., **Костина Н.В.** «Сценарии» различных вариантов развития экологической ситуации в области (экологический прогноз) // Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. – Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1994. – С. 294-300.

21. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., **Костина Н.В.** Методика проведения исследований // Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. – Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1994. – С. 20-32.

22. Розенберг Г.С., Саксонов С.В., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э. Оценка состояния и подходы к управлению биоресурсами Средней и Нижней Волги // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. Сб. науч. статей. М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2005. – С. 351-360.

23. Розенберг Г.С., **Костина Н.В.**, Лифиренко Н.Г., Кузнецова Р.С. Оптимизация природного комплекса Среднего Поволжья в целях достижения устойчивого развития региона // Ресурсы экосистем Волжского бассейна Т.2. Наземные экосистемы. – Тольятти: Изд-во "Кассандра", – 2008. – С. 256-305.

24. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., **Костина Н.В.** Глава 3. Экспертная система REGION для бассейна крупной реки // Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти: Кассандра, – 2009. – С.84-109.

25. Розенберг Г.С., **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С., Лифиренко Н.Г., Саксонов С.В. Глава 6. Сценарии устойчивого развития Волжского бассейна // Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти: Кассандра, – 2009. – С.365-424.

26. Хасаев Г.Р., Розенберг Г.С., **Костина Н.В.** Глава 11. Устойчивое развитие региональных социо-эколого-экономических систем (на примере Волжского бассейна) // Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2015 год. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – 2015. – С. 223-236.

#### **Публикации в рецензируемых журналах:**

27. Розенберг Г.С., Саксонов С.В., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э. Прогноз и моделирование управления биоресурсами Волжского бассейна // Ресурсы регионов России. – 2005. – № 6. – С. 49-54.

28. Розенберг Г.С., Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.** Управление биопродуктивностью Волжского бассейна при реализации сценария "потепления климата" // Экологический ежегодник, – 2008. №2. – С. 49-51.

29. **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг Г.С. Волжский бассейн: как пройти к устойчивому развитию? // На пути к устойчивому развитию России. – 2011. – № 58. – С. 66-73.

30. **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., Юрина В.С., Розенберг Г.С. «Экология культуры» и устойчивое развитие (с примерами по Волжскому бассейну) // Экология и жизнь. – 2012. – № 7 (128). – С. 64-70.

31. Rozenberg G.S., Kostina N.V., Kudinova G.E., Rozenberg A.G. Servizi ecosistema innovazione pilastri dello sviluppo sostenibile (per esempio volga bacino) // Italian Science Review. – 2014. – 3(12). – PP. 288-291. URL: <http://www.ias-journal.org/archive/2014/march/Rozenberg-Kostina.pdf>

32. **Костина Н.В.**, Иванова А.В., Розенберг Г.С. Методический подход к комплексному анализу семейственного спектра флоры // Карельский научный журнал. – 2015. – №3(12). – С. 94-105.

33. Розенберг А.Г., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг Г.С. Экосистемные услуги как инновационная составляющая устойчивого развития // Энергия: экономика, техника, экология. – 2017. – №4. – С. 48-53.

34. Розенберг Г.С., Гелашвили Д.Б., Зибарев А.Г., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Саксонов С.В., Хасаев Г.Р. Формирование экологической ситуации и пути достижения устойчивого развития Волжского бассейна // Региональная экология. – 2016. – № 1(43). – С. 15-27.

#### **Прочие публикации:**

35. Розенберг Г.С., Дунин Д.П., **Костина Н.В.**, Морозов В.Г., Погодин И.В., Шитиков В.К. Информационные технологии для оценки экологического состояния крупного региона (на примере Волжского бассейна и Самарской области) // Проблемы региональной экологии. Вып. 8. – Томск: СО РАН, –2000. – С. 213-216.

36. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., **Костина Н.В.** Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы "VOLGABAS") // Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). Тольятти: СамНЦ РАН, – 2005. – С. 167-227.

37. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С. Здоровье среды: оценки риска и экологическое воспитание, образование и просвещение населения // Материалы Международной науч.конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды». Часть I. – Тольятти: ВУиТ, – 2004. – С. 32-36.

38. **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С., Лифиренко Н.Г., Розенберг Г.С. Эколого-информационная система REGION для оценки и прогноза состояния окружающей среды // Труды междунар. симпоз. «Инженерная экология-2005». – М.: Российское НТОРЭС им. А.С.Попова, – 2005. – С. 8-13.



39. Розенберг Г.С., Саксонов С.В., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э. Прогностическая модель управления биологическими ресурсами в Волжском бассейне на примере Самарской области // Синергетика природных, технических и социально-экономических систем / Сб. статей Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Тольятти: ТГУС, 2006. – С. 38-43.

40. Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С. Сценарий глобального потепления: моделирование региональных особенностей глобальных изменений природной среды // VII Междунар. симпоз. "Проблемы экоинформатики". – Москва, – 2006. – С. 78-81.

41. Розенберг Г.С., Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.** Прогнозирование биопродуктивности Волжского бассейна по ЭИС "REGION" // Международный симпозиум «Инженерная экология-2007». – Москва, – 2007. – С. 178-182.

42. Лифиренко Н.Г., Костина Н.В., Васильев А.В. Воздействие электромагнитного загрязнения на здоровье населения // Сб.тр. Первого междунар. экологического конгресса «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT 2007 (20-23 сент. 2007). – Тольятти, – 2007. – Т.1 – С. 322-326.

43. **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С., Лифиренко Н.Г. Экологическая информационная система "REGION" как инструмент прогнозирования эколого-экономической и социальной обстановки в Волжском бассейне // Материалы конф. Изменение климата и возможные последствия для экосистем Волжского бассейна. Волжский бассейн 50 лет спустя: перспективы и прогнозы (Тольятти, 14-15 февраля 2007). – Тольятти, – 2007. – С.19-21.

44. Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.** Прогноз первичной биопродуктивности экосистем Волжского бассейна // Тез.докл. Межд.конф. "Экологические проблемы бассейнов крупных рек-4" [электронный ресурс]. – Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2008. – С. 92.

45. Розенберг Г.С., **Костина Н.В.**, Лифиренко Н.Г. Экологическая оценка с использованием обобщенной функцией желательности административных единиц территории Волжского бассейна // Сборник трудов II междунар. экологического конгресса (IV научно-технической конференции) "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов". Тольяттинский государственный университет, 24-27 сентября 2009 года. – Тольятти: ТГУ, – 2009. – Т.1. – С. 22-26.

46. **Костина Н.В.**, Пыршева М.В., Розенберг Г.С. Межрегиональное эколого-экономическое комплексное районирование антропогенно нарушенных территорий // Матер. межд. научн.-практ. конф. «Экологическое равновесие и устойчивое развитие территории», – СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, – 2010. – С. 55-58.

47. Лифиренко Д.В., Лифиренко Н.Г., **Костина Н.В.** Влияние социо-эколого-экономических факторов на состояние здоровья населения (на примере территории Волжского бассейна и Самарской области) // Матер. IX Междунар. симпозиума "Проблемы Экоинформатики». – М: ПЦ ЭИ (ТУ). – 2010. – С.141-144.

48. Кузнецова Р.С., **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С. Первичная биологическая продуктивность при изменении климатических условий на территории Волжского бассейна // Ма-

тер. конф. «География продуктивности и биологического круговорота наземных ландшафтов к 100-летию проф. Н.И. Базилевич (1910-1997)». – Пущино, – 2010. – С. 399-404.

49. **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., Розенберг Г.С., Юрина В.С. Об "экологии культуры" и устойчивом развитии Волжского бассейна // В сборнике: Устойчивое развитие территорий: теория и практика: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции Ответственные редакторы: Я.Т. Суюндуков, А.А. Барлыбаев, Р.Ф. Хасанова, Ф.М. Сулейманов. – 2012. – С. 327-339.

50. Иванова А.В., **Костина Н.В.**, Сенатор С.А. Оценка антропогенной нагрузки территории на основе анализа изменения параметров флоры // Матер. Междунар. конф. «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем». – Кассандра, Изд-во СамГЭУ, Самара-Тольятти. – 2014. – С. 89-92.

51. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С. Анализ некоторых индексов и индикаторов устойчивого развития территории Волжского бассейна // Сб. науч.статей Междунар. научно-практич. конференции «Формирование и становление рынка интеллектуальной собственности как основного фактора создания инновационной экономики и обеспечения устойчивого развития регионов в условиях кризиса» – Тольятти: Издательство ООО типография «Форум». – 2015. – С.37-42.

52. **Костина Н.В.**, Розенберг Г.С. Характеристика устойчивого развития территории Волжского бассейна по комплексу индексов и индикаторов // В сборнике: Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем II Международная конференция. – 2015. – С. 45-49.

53. Розенберг Г.С., **Костина Н.В.**, Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г. «Волга впадает в Каспийское море» для обеспечения устойчивого развития социо-эколого-экономических систем // Материалы Международного форума «Каспий – море дружбы и надежд», посвященного 85-летию Дагестанского государственного университета (г. Махачкала, 11-15 октября 2016 г.). – Махачкала: Типография ИПЭ РД, – 2016. – С. 17-19.

54. Розенберг А.Г., **Костина Н.В.**, Кузнецова Р.С. Стоимостная оценка экосистемных услуг по муниципальным районам Самарской области // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 4-3. – С. 162-164.

55. Паюсова Т.В., Иванова А.В., Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., **Костина Н.В.** Роль экскурсий в формировании экологического образования и культуры школьников // В сборнике: Экология и природопользование: прикладные аспекты материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 239-245.