

*На правах рукописи*



**МИНЕЕВ АЛЕКСАНДР КОНСТАНТИНОВИЧ**

**СОВРЕМЕННОЕ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА  
СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ**

**Специальность:**  
03.02.08 – экология (биология)

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

**Тольятти – 2017**

Работа выполнена в лаборатории популяционной экологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук

**Официальные  
оппоненты:**

**Шляхтин Геннадий Викторович,**  
доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой морфологии и экологии  
животных, декан биологического факультета  
Саратовского национального исследовательского  
государственного университета им. Н.Г.  
Чернышевского, заслуженный деятель науки РФ  
(г. Саратов);

**Селюков Александр Германович,**  
доктор биологических наук, доцент, профессор  
кафедры зоологии и эволюционной экологии  
животных Института биологии Тюменского  
государственного университета (г. Тюмень);

**Терещенко Владимир Григорьевич,**  
доктор биологических наук, главный научный  
сотрудник лаборатории эволюционной экологии  
Института биологии внутренних вод им. И.Д.  
Папанина Российской академии наук (п. Борок)

**Ведущая  
организация:**

**Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского**

Защита диссертации состоится « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного совета Д 002.251.02 при ИЭВБ РАН по  
адресу: 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; тел. 8(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 можно ознакомиться в библиотеке и на официальном  
сайте ИЭВБ РАН по адресу [www.ievbras.ru](http://www.ievbras.ru) и на официальном сайте ВАК по  
адресу [www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru).

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Л. Маленёв

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Рыбы – древнейшая группа позвоночных животных, неразрывно связанных с водной средой, где происходят все процессы их жизнедеятельности, и от качества которой зависит морфофизиологическое состояние отдельных особей и экологическое благополучие всей ихтиофауны. В России преобладающая часть водоемов, в том числе водохранилища Средней и Нижней Волги, подвергается значительному техногенному воздействию. Преобразования популяций волжских рыб, связанные с активной антропогенной трансформацией исходного водоема, наблюдаются на протяжении нескольких десятилетий с середины XX века до настоящего времени. Особую роль в происходящем стали играть изменения не только изначальных абиотических и биотических условий, но и антропогенные факторы, обусловленные активным ростом промышленной, транспортной и бытовой сферы Поволжья.

Исследованиями многочисленных авторов (Поддубный, 1963; Цыплаков, 1972; Яковлева, 1975; Махотин, 1977; Батоян, Сорокин, 1989; Евланов и др., 2000; Кузнецов, 2000 и др.) на примере Средней Волги показано, что в результате многофакторного антропогенного воздействия произошли серьезные качественные и количественные изменения в структуре рыбного сообщества. Для более полной оценки степени негативной трансформации отдельных особей и популяций в целом необходим комплексный подход к исследованию рыб разных видов и возрастов на всех уровнях организации: клеточном, тканевом, органном, организменном и популяционном. Подобные работы немногочисленны, осуществляются в основном на хозяйственно ценных промысловых видах – осетровых, сиговых и лососевых (Лукьяненко, 1990; Моисеенко, 2000, 2009; Земков, Журавлева, 2004; Гераскин, 2013; Решетников, Попова, 2015), и не охватывают всего спектра изменений, происходящих на уровне организма и популяции. Комплексные исследования видов рыб, не представляющих хозяйственной ценности, вовсе единичны (Решетников, Попова, Кияшко и др., 2016).

До настоящего времени на водохранилищах Средней, Нижней Волги и их основных притоках не проводилось единого комплексного исследования морфофизиологического состояния массовых видов рыб на разных уровнях организации, как важнейшего показателя экологического состояния водоемов и водотоков, что придает данной работе особую значимость и актуальность.

**Цель работы** – комплексное изучение морфофизиологического состояния массовых видов рыб в условиях антропогенного загрязнения водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги и его использование для оценки экологического состояния исследованных акваторий.

### **Задачи исследования:**

1. Классификация встреченных у молоди и взрослых рыб различных морфологических нарушений, определение характера распространения аномалий у молоди рыб разных видов и стадий личиночного и малькового развития в зависимости от уровня антропогенного загрязнения водоемов и водотоков.

2. Изучение на макро- и микроуровне морфофизиологического состояния половозрелых особей массовых видов рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги с различающимся уровнем комплексного загрязнения.

3. Исследование неспецифического и необратимого характера морфофизиологических нарушений у молоди и половозрелых особей разных видов волжских рыб.

4. Изучение зависимости частоты возникновения, разнообразия и степени тяжести возникающих у рыб разноплановых морфофизиологических нарушений от уровня загрязненности исследуемых волжских водоемов и водотоков.

**Научная новизна.** Впервые проведено многолетнее (1995-2014 гг.) комплексное исследование морфофизиологического состояния массовых видов рыб из водохранилищ Средней, Нижней Волги (Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского) и их основных притоков, а также водоемов Волго-Ахтубинской поймы. Обнаружен и изучен комплекс неспецифических морфофизиологических нарушений, проявляющихся у рыб на разных уровнях организации – клеточном, тканевом, органном и организменном. Некоторые аномалии развития молоди рыб зафиксированы и описаны впервые. Данные по встречаемости некоторых морфофизиологических нарушений у исследованных видов волжских карповых (сем. Cyprinidae) и бычковых (сем. Gobiidae) рыб получены впервые. Подтверждена возможность объективной оценки экологического состояния водоемов и водотоков на основе анализа комплекса неспецифических реакций, возникающих у рыб разных возрастных, экологических и систематических групп в условиях разнопланового антропогенного загрязнения.

Приведены доказательства того, что популяции массовых видов рыб в самих волжских водохранилищах в наибольшей степени подвержены воздействию комплекса негативных факторов среды, в то время как в популяциях из более благополучных водоемов, какими являются притоки водохранилищ, встречаемость у рыб аномалий и патологий существенно ниже или в пределах нормы.

**Теоретическая и практическая значимость.** Работа является основным и единственным многолетним комплексным патолого-ихтиологическим исследованием, охватывающим водохранилища Средней и Нижней Волги и их притоки. Полученные результаты расширяют теоретические представления о механизмах адаптации рыб к воздействию комплексного антропогенного загрязнения, о преобразовании адаптационных изменений в патологические процессы на разных уровнях организации: клеточном, тканевом, органном и организменном. Материалы, отраженные в диссертации, могут быть использованы для расширения теоретических основ изучения влияния техногенных факторов на гидробионтов и совершенствования методов биоиндикации.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов и выводов для прогнозирования путей дальнейшего преобразования популяций волжских рыб в условиях продолжающейся антропогенной трансформации водохранилищ и их притоков. Данные по частоте встречаемости и закономерностям возникновения у рыб морфофизиологических нарушений могут быть эффективно использованы в биомониторинговых исследованиях водоемов и водотоков различного типа и с разным уровнем антропогенной нагрузки. Полученные результаты, сформулированные на их основе научные положения и выводы, а также разработанная комплексная методика оценки состояния водной среды, могут найти применение в работе природоохранных организаций при оценке состояния водных ресурсов и разработке практических рекомендаций по восстановлению и рациональному использованию рыбных запасов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Морфологические аномалии, возникающие у молоди рыб в условиях комплексного техногенного загрязнения водоемов и водотоков, представляющие собой последствия нарушения процессов эмбриогенеза и личиночного развития, являются необратимыми и летальными.

2. Встречаемость морфофизиологических нарушений у молоди и половозрелых рыб определяется, в основном, уровнем комплексного загрязнения водоема, а видовая принадлежность и экологические особенности особей не являются определяющими факторами.

3. Комплекс неспецифических реакций, возникающих у рыб в условиях воздействия антропогенных загрязнений, является объективным индикатором морфофизиологического состояния отдельных особей, популяций рыб и всей ихтиофауны водоемов.

4. Морфофизиологическое состояние массовых видов рыб является информативным критерием общего экологического состояния изучаемых водохранилищ и их притоков, соответственно, может быть эффективно использовано в популяционных и биомониторинговых исследованиях.

**Личный вклад автора.** В работе обобщены результаты собственных 20-летних исследований автора по изучению морфофизиологического состояния массовых видов рыб Средней и Нижней Волги. Автором самостоятельно определены цель и задачи исследования, выбраны периодичность, методы сбора полевого материала и его обработки. Проанализированы пробы молоди рыб собранные в 1983-1986 гг., хранящиеся в коллекции ИЭВБ РАН и ранее не обработанные. Анализ собранных данных и их последующая интерпретация проведены автором лично. Доля участия в подготовке и написании совместных публикаций пропорциональна числу авторов.

**Апробация работы.** Результаты исследований и материалы диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях, съездах и семинарах: «Первый конгресс ихтиологов России» (Москва, 1997); «Акватерра» (С.-Петербург, 2000); «Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных» (Саранск, 2005); «Ихтиологические исследования на внутренних водоемах» (Саранск, 2007); «Экологические проблемы крупных рек – 4» (Тольятти, 2008); «Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского» (Тамбов, 2010); Первых международных Беккеровских чтений (Волгоград, 2010); «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды» (Тольятти, 2010, 2011, 2012); «Экологические проблемы природных и антропогенных территорий» (Чебоксары, 2011); «Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем» (Тольятти, 2011); «Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги)» (Москва, 2011); «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 2013, 2014, 2016); «Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы» (Самара, 2013); «Теоретические проблемы экологии и эволюции» (Тольятти, 2015); «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Самара–Тольятти, 2016), а также в *аналитическом докладе для ассоциации «Большая Волга» «Экологические проблемы Среднего и Нижнего Поволжья на рубеже тысячелетий. Ситуация контроля и управления»* (Тольятти, 2000).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 49 научных работ, в том числе 26 статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 3 коллективных монографии.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, списка цитированной литературы (401 наименование в отечественных и

зарубежных изданиях). Работа изложена на 378 страницах машинописного текста и включает 130 иллюстраций (46 таблиц и 84 рисунка).

**Благодарности.** Автор искренне благодарит директора ИЭВБ РАН д.б.н., чл.-корр. РАН, профессора Г.С. Розенберга и д.б.н., профессора И.А. Евланова за консультации, методическую и методологическую помощь в выполнении данной работы.

Также выражаю благодарность сотрудникам ИЭВБ РАН, оказавшим помощь в сборе полевого материала: Сорокину В.Н. (Волго-Ахтубинская пойма 1996-1998 гг.), Козловскому С.В. (Куйбышевское водохранилище 1983-1986 гг.), Калинин Е.А. (Удмуртская республика 2011-2013 гг.).

Сотрудникам ИЭВБ РАН, оказывавшим экспедиционные транспортные услуги – Гостеву С.Н., Гостеву А.Н., Макарову Н.Н., Гадалину В.И. – выражаю свою искреннюю признательность и большую благодарность.

Выражаю особую благодарность д.б.н., профессору Краснощекову Г.П. за обучение методам гематологического и гистологического исследования, последующие консультации по изготовлению и анализу гистологических и гематологических препаратов. Работа выполнена на базе лаборатории популяционной экологии ИЭВБ РАН, полевой лаборатории стационара «Кольцовский» ИЭВБ РАН, с использованием научно-исследовательского судна «Биолог» ИЭВБ РАН.

Я сердечно благодарю мою семью за помощь и терпение.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** раскрывается актуальность работы, показана теоретическая и практическая значимость, научная новизна, сформулированы цель и задачи исследования.

### **ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У РЫБ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

В главе приведен анализ отечественной и зарубежной литературы, посвященной исследуемой проблеме. Освещена история изучения возникновения морфофизиологических нарушений у рыб разных таксономических и возрастных групп при воздействии основных групп загрязнителей и их комплексном отрицательном влиянии. Отдельно приведены данные по многолетней динамике экологического состояния водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги (таблица 1).

### **ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В основу диссертации положены результаты исследования морфофизиологического состояния молоди и половозрелых рыб массовых видов из водохранилищ Средней и Нижней Волги (Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского, Волго-Ахтубинской поймы) и их некоторых притоков в пределах Удмуртской республики и Татарстана, Ульяновской, Самарской, Оренбургской, Саратовской, Волгоградской и Астраханской областей в период 1995-2014 гг.

Молодь рыб на разных стадиях личиночного и малькового развития отлавливали в прибрежной зоне водоемов и водотоков набором сачков из мелкочаеистого мельничного газа. Исследования дополнены пробами, отобранными из Куйбышевского водохранилища в 1983-1986 гг. Видовую принадлежность и стадии развития личинок и мальков рыб устанавливали по

определителю А.Ф. Коблицкой (1981). Объем исследованного материала составил 52327 экз. 26 видов.

**Таблица 1.** Уровень содержания основных загрязняющих веществ в воде из контрольных створов исследованных волжских водоемов и водотоков

Водоем	Превышения рыбохозяйственных ПДК по основным загрязнителям водоемов (max превышения ПДК / среднегодовые превышения ПДК)								
	ХПК	БПК <sub>5</sub>	Нефте- продукты	Фенолы	Сульфаты	Нитраты, нитриты	Mn	Cu	Класс качества воды
Куйбышевское вдхр.	5 / 2	4 / 2	5 / 2	6 / 2	5 / 2	5 / 2,2	5 / 2	5 / 2,3	3 А, Б
Саратовское вдхр.	7 / 1,6	7 / 1,6	2 / 1,2	7 / 2	4 / 2	7 / 1,3	7 / 1,4	27 / 7	3 А, Б
Волгоградское вдхр.	6 / 1,5	5 / 2,2	2 / 1,2	2 / 1,2	3 / 1,2	13,5 / 4,4	20 / 2,5	8 / 2,2	3 А, Б
Волго-Ахтубинская п.	2 / 1,2	3 / 1,7	-	-	-	4,5 / 1,4	4 / 1,5	3 / 1,2	2 – 3 Б
Притоки Саратовского водохранилища									
р. Сок (устье)	2 / 3	3 / 2	-	-	6 / 5	2 / 1,2	7 / 1,4	1 / 2	3 Б – 4 А
р. Кондурча	-	-	-	-	-	2,4 / 1,2	4,6 / 2,4	13 / 4,4	3 Б – 4 А
р. Съезжая	4 / 2	3 / 2	-	-	4 / 2	-	42 / 11	7 / 5	3 Б
р. Большой Кинель	7 / 2	7 / 2	-	-	4 / 2	2 / 1,2	15,8 / 7,5	7 / 5	3 Б
р. Самара (устье)	7 / 3	-	-	-	-	7 / 2,1	9 / 3,2	11 / 2,2	3 Б – 4 А
р. Чапаевка	3 / 2,1	4,8 / 2,2	до 1	15 / 5	-	25 / 1,5	16 / 4	30 / 2	4 Б
Притоки Куйбышевского водохранилища									
р. Большой Черемшан	3,2 / 1,4	3,9 / 1,4	2,6 / 1,6	4 / 1,4	-	8,4 / 1,7	22,9 / 4,4	6,3 / 1,6	2 – 3 А
р. Ува	-	5,7 / 2	-	-	до 1,02	-	-	-	2
р. Нылга	-	1,1 / 1,1	-	-	до 1,02	-	-	-	2
р. Позимь	4 / 1,7	1,6 / 1,2	-	2 / 1,2	-	5 / 1,7	-	12 / 6	3 А, Б

Примечание: ХПК – химическое потребление кислорода (трудноокисляемые вещества), БПК<sub>5</sub> – биологическое потребление кислорода (легкоокисляемые вещества), « - » – отсутствие в воде данного загрязнителя, или его содержание не превышает ПДК. Таблица составлена на основе данных литературы о состоянии природной среды в регионах Среднего и Нижнего Поволжья (Червякова, 1994; Выхристюк и др., 1996; Гос. доклад ..., 1997, 2000, 2001, 2009, 2012; Селезнев и др., 1998; Зинченко, 2004; Гос. доклад о ... 2011, 2013; Доклад о ..., 2012, 2013; О состоянии ..., 2010, 2012, 2013).

Перед отбором проб в месте скопления молоди рыб производились замеры температуры воды. Предличинки, личинки и ранние мальки отлавливались лишь при температуре воды в диапазоне 10,0–20,0°C, так как именно данные рамки температурных значений являются оптимальными для нереста и последующего эмбрионального развития таких массовых видов волжских рыб как плотва, лещ, синец, судак, щука (Голованов, 2013). Температурным оптимумом для массового нереста большинства видов карповых рыб Куйбышевского водохранилища – наиболее крупного водоема Средней Волги, является температура 13,0–15,0°C (Цыплаков, 1966). В случае достижения определенных пороговых значений температуры и превышения их в течение нескольких дней наблюдается прекращение нереста (с последующей резорбцией икры у производителей) или гибель личинок, а также появление массовых уродств у развивающихся эмбрионов (Голованов, 2013). Чтобы избежать присутствия в пробах особей с аномалиями, вызванными температурными перепадами, молодь не отбиралась при температурах воды не укладывающихся в значения оптимума. Но, как правило, при температурах, не соответствующих нерестовым нормам, и молоди рыб на нерестилищах не обнаруживалось.

Мальки и сеголетки карповых, окуневых, а также представители бычковых и головешковых рыб, являющихся обитателями литорали, отлавливались при помощи мальковой волокуши с размером ячеек в кутке ×5 мм и размахом крыльев

15 м. Половозрелые особи массовых видов карповых и окуневых рыб вылавливались в литорали и пелагиали с помощью набора ставных сетей с набором ячеи от  $\times 15$  мм до  $\times 65$  мм, а также методом пелагического траления с использованием НИС «Биолог» и донного трала с размахом крыльев 45 м с ячеей в кутке  $\times 45$  мм.

Исследовано морфологическое состояние 6223 половозрелых особей 12 видов рыб из Саратовского водохранилища. Возраст взрослых рыб определяли по чешуе и отолитам (Правдин, 1966).

Сбор гематологического материала производили в весенне-осенний период 1998-2013 гг. на Куйбышевском и Саратовском водохранилищах и их притоках. Препараты периферической крови изготавливали на месте вылова рыб, фиксировали этанолом и окрашивали по методу Романовского–Гимза. Применяли непрямой метод подсчета форменных элементов крови (Иванова, 1983) с последующим анализом основных показателей. Для оценки неблагоприятных воздействий на организм вычисляли соотношение нормобластов и зрелых эритроцитов, соотношение эритроцитов и лейкоцитов, а также применяли индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), который является в наших исследованиях основным показателем состояния белой крови (Житенева и др., 1997). Осуществляли изучение патологий клеток эритроцитарного ряда с последующим описанием, классификацией и анализом частоты встречаемости отдельных типов нарушений. Всего обследовано 3462 особи.

Проведено изучение гистологического состояния некоторых внутренних органов – жабр, печени, гонад и сердца, морфофизиологические изменения которых в условиях внешних воздействий имеют пролонгированный характер. Для гистологического анализа органы рыб, как с признаками аномалий, так и лишенные внешних проявлений патологического процесса, отбирали у живых особей и фиксировали (фиксатор Лилли). Обезвоживание и уплотнение гистологического материала производили по стандартной методике (Роскин, Левинсон, 1957). Толщина серийных гистологических срезов, изготовленных на салазочном микротоме МКБ–10, не превышала 8 мк. Препараты окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике с последующим заключением в канадский бальзам. Обследовано 6232 серийных гистологических препарата внутренних органов 1557 половозрелых особей.

С использованием гистологического метода произведено также изучение основных типов морфологических аномалий молоди рыб. Изготовлено и обработано 68 серийных препаратов нарушений морфологии глаз, челюстей, миотомов, пигментированных и непигментированных новообразований у личинок и мальков.

Снимки молоди рыб, гематологических и гистологических препаратов выполнены при помощи окулярной цифровой микрофотокамеры «Levenhuk C-Series» C510 NG, бинокулярного микроскопа МБС–10 и микроскопа «Биолар». Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами (Плохинский, 1970; Лакин, 1990).

Дендрограммы сходства исследуемых водоемов по основным изучаемым ихтиологическим признакам составляли с применением метода кластерного анализа по Брею–Кёртису (Шитиков и др., 2003). Для графической иллюстрации результатов использовали программы Excel 2007, Statistica 12, Adobe Photoshop CS6, Paint.

### ГЛАВА 3. МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОЛОДИ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ

В онтогенезе рыб период эмбрионально-личиночного развития является наиболее чувствительным к действию абиотических факторов естественного характера (температура воды, содержание кислорода, величина рН, скорость течения, освещенность и т.п.) и влиянию различных токсических веществ (Привольнев, 1947; Жукинский, 1986; Макеева, 1992; Nylland et al., 2003 и др.). Наличие морфологических аномалий свидетельствует о неблагоприятном состоянии популяции, вызванным ухудшением качества водной среды (Решетников, 1988; Савваитова и др., 1995; Евланов и др., 1997, 1999, 2000; Минеев и др., 1997, 1998; Павлов и др., 1999; Акимова и др., 2004; Минеев, 2012, 2013 и др.). На основе проведенных исследований и анализа литературных данных мы даем собственное определение неспецифическим реакциям, обнаруженным у волжских рыб: **неспецифические реакции** – сочетание сходных морфофизиологических нарушений, возникающих у особей разных видов и экологических групп в определенной последовательности на различных уровнях организации (клеточном, тканевом, органном и организменном) при воздействии комплексных антропогенных загрязнений, и не зависящих от сочетания других естественных абиотических факторов.

**3.1. Классификация морфологических аномалий молоди рыб.** В разделе приведено описание, фотографии и микрофотоснимки гистологических препаратов морфологических аномалий, обнаруженных у молоди рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги. Всего обнаружено 73 типа нарушений морфологии, которые поражают практически все жизненно важные органы. Аномалии объединены в 8 групп и систематизированы следующим образом: 1 – нарушения морфологии глаз (23 типа); 2 – нарушения морфологии головы (14 типов); 3 – нарушения морфологии плавников (20 типов); 4 – нарушения морфологии туловища (4 типа); 5 – нарушения в топографии внутренних органов (2 типа); 6 – пигментированные опухоли и нарушения в характере пигментации тела (3 типа); 7 – непигментированные опухоли наружной локализации (3 типа); 8 – нарушения в строении мышечной ткани (4 типа).

Появление данных уродств у молоди рыб следует рассматривать как ответную реакцию организма на качество водных масс, которые оказывают отрицательное влияние на процессы эмбриогенеза, когда происходит закладка программы формирования будущих морфологических признаков. Однако непосредственные процессы формирования основных морфологических признаков в ходе последующего личиночного развития также могут быть подвержены отрицательному влиянию загрязнений, в результате чего возникают необратимые морфологические нарушения, не заложенные в процессе эмбриогенеза – новообразования (различной степени локализации и пигментации) и некрозы тканей. При воздействии загрязнителей морфологические аномалии могут возникать у молоди рыб на поздних стадиях личиночного и малькового развития, даже если у данных особей не регистрировалось каких-либо нарушений на ранних стадиях. Однако число таких экземпляров на поздних стадиях малькового развития минимально. Несмотря на то, что общее количество и разнообразие обнаруженных морфологических аномалий велико (73 типа), мы предполагаем, что у молоди рыб могут быть отмечены и другие типы аномалий, не зарегистрированные нами. Для большинства нарушений морфологии, за исключением редко встречающихся

(раздвоение глазного яблока, дополнительные плавники и т.д.), наблюдается ряд закономерностей:

1. Морфологические аномалии разных типов встречаются у личинок и мальков рыб независимо от их видовой принадлежности;

2. Частота обнаружения особей с морфологическими аномалиями среди молоди рыб находится в обратной зависимости от возраста особей (стадии личиночного и малькового развития);

3. Наибольшее количество разных типов морфологических аномалий встречается у молоди рыб на ранних стадиях личиночного развития ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $D_1$ ), а к более поздним стадиям малькового развития (E-F) разнообразие обнаруживаемых типов патологий существенно снижается, как и общее число особей с нарушениями морфологии;

4. Все обнаруженные у личинок и мальков рыб морфологические аномалии являются неспецифическими реакциями на воздействие внешних неблагоприятных факторов среды, в первую очередь – загрязняющих веществ, и имеют необратимый характер, что приводит в конечном итоге к элиминации основной части таких особей.

### **3.2. Основные закономерности встречаемости аномальных особей в водоемах и водотоках Средней и Нижней Волги.**

**3.2.1. Встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в водоемах и водотоках с различными гидрологическими характеристиками и уровнем загрязнения.** Несмотря на все отличия изученных водоемов и водотоков, нерест массовых видов волжских рыб осуществляется в сходных гидрологических условиях, в соответствии с видовыми нерестовыми потребностями (температура воды, скорость течения, освещенность, величина рН, кислородный режим, нерестовый субстрат и т.д.). В подобных условиях основным фактором, определяющим возникновение различных отклонений в морфологии молоди рыб, является степень влияния на нерестилища антропогенных факторов, наиболее мощным из которых является воздействие комплексного техногенного загрязнения. Согласно результатам исследований, доля аномальных личинок и мальков в скоплениях молоди рыб находится в прямой зависимости от степени загрязненности всего водоема и отдельных нерестилищ в частности.

Чем интенсивнее и длительнее подобное воздействие, тем выше встречаемость особей с морфологическими аномалиями среди личинок и мальков рыб и тем разнообразнее обнаруживаемые нарушения морфологии. Данная тенденция одинакова для всех исследованных водохранилищ Средней и Нижней Волги и их основных притоков. В условиях незарегулированной Волги и отсутствия заметного антропогенного воздействия встречаемость молоди рыб с морфологическими аномалиями не превышала 5% (Кирпичников, 1979, 1987), что принято считать условной нормой для естественных природных водоемов (Кирпичников, 1987). Согласно нашим данным, в большинстве водоемов Средней и Нижней Волги порог условной нормы по встречаемости аномальной молоди в пробах был многократно превышен на протяжении всего периода исследований (таблица 2).

В водоемах Волго-Ахтубинской поймы (1996-1998 гг.), Саратовском (1995-2013 гг.) и Куйбышевском (1996-1998 гг.) водохранилищах встречаемость аномальных личинок и мальков достигла 38,7, 31,3 и 31,5% соответственно, что превышает условную норму для благополучных природных популяций более чем в 6-7 раз. В притоках Саратовского водохранилища первого порядка, какими являются реки Самара, Чапаевка и Сок, количество аномальных личинок в пробах значительно ниже, чем в конечном водоеме водосбора, и составило за весь период исследования

7,4, 18,5 и 26,3% соответственно. В р. Большой Черемшан, которая является притоком Куйбышевского водохранилища первого порядка, встречаемость аномальных особей среди молоди рыб сопоставима с таковой в притоках Саратовского водохранилища – 8,7%. В притоках Саратовского водохранилища второго порядка (р. Съезжая, Большой Кинель и Кондурча) доля молоди рыб с нарушениями внешней морфологии еще ниже, чем в притоках первого порядка – 6,7, 1,8 и 3,8% соответственно, что незначительно выше или в границах условной нормы.

**Таблица 2.** Встречаемость молоди рыб с нарушениями морфологии из исследованных водоемов и водотоков за весь период исследования

Водоем	Период исследования	Встречаемость аномальных особей, %
Куйбышевское водохранилище	1983-1986 гг.	17,7±0,82
	1996-1998 гг.	31,5±1,23
Притоки Куйбышевского водохранилища		
р. Ува	2011 г.	3,0±1,22
р. Нылга	2011 г.	4,2±1,57
р. Позимь	2011 г.	22,5±0,95
р. Большой Черемшан	2012 г.	8,7±0,93
Саратовское водохранилище	1995-2013 гг.	31,3±0,31
Притоки Саратовского водохранилища		
р. Самара	2012, 2013 гг.	7,5±0,66
р. Съезжая	2013 г.	6,6±0,56
р. Большой Кинель	2012 г.	1,8±0,63
р. Кутулук	2013 г.	20,0±3,52
р. Кондурча	2013 г.	3,8±1,31
р. Сок	1996, 1997, 2007, 2009, 2010 гг.	26,3±1,17
р. Чапаевка	1995, 2009, 2013, 2014 гг.	18,5±1,65
Волгоградское водохранилище	2011 г.	16,1±1,07
Волго-Ахтубинская пойма	1996, 1997, 1998 гг.	38,7±0,39
Общее число обследованных особей, экз.	1983-2013 гг.	52327

В нашем исследовании в качестве контрольных объектов использованы малые реки Удмуртской республики: Ува, Нылга и Позимь, которые относятся к территории водосбора Куйбышевского водохранилища и являются его притоками пятого и третьего порядка, соответственно.

Уровень загрязнения данных водоемов приведены в таблице 1. Показательно, что встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в двух реках, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки – Ува и Нылга, составила 3,0 и 4,2% соответственно (Минеев, Калинин, 2013), что не превышает значения условной нормы для незагрязненных водоемов и сопоставимо с таковой в притоках Саратовского водохранилища второго порядка.

Молодь рыб на р. Позимь отлавливали в городской черте г. Ижевска, крупного промышленного центра, в связи с чем р. Позимь является приемником бытовых и промышленных стоков республиканского центра, что не могло не отразиться на

состоянии ихтиофауны данного водоема. В пробах из р. Позимь встречаемость аномальной молодежи рыб составила 22,5%, что более чем в четыре раза превышает значение условной нормы для благополучных природных популяций. Таким образом, ясно прослеживается тенденция увеличения встречаемости аномальных особей в пробах от притоков второго порядка к притокам первого порядка и основным водоемам водосбора – Саратовскому и Куйбышевскому водохранилищам, что может быть обусловлено более высоким уровнем загрязнения основных водоемов водосбора – водохранилищ.

Однако распределение загрязняющих веществ по акватории изученных водоемов и их концентрации на разных станциях исследования характеризуются определенной неоднородностью и имеют, как правило, выраженный очаговый характер. Уровень загрязнения воды и, соответственно, встречаемость молодежи рыб с нарушениями внешней морфологии в условиях волжских водохранилищ зависит от удаленности основных источников загрязнения, каковыми являются крупные населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспортные объекты (авто- железнодорожные магистрали, мосты, судоходные шлюзы, речные порты, и т.п.), объекты гидроэнергетики (ГЭС, ГРЭС).

Несмотря на довольно мозаичную картину количественного распределения аномальных особей на разных станциях Саратовского водохранилища, ясно прослеживается тенденция преобладания рыб с нарушениями морфологии в районах крупных населенных пунктов: г. Тольятти (16,7-91,7%), г. Самара (14,3-45,5%), с. Переволоки – г. Печерск (16,2-65,5%), г. Октябрьск – г. Сызрань (22,2-33,9%), с. Большая Федоровка – г. Хвалынский (21,5-58,3%), Балаковская АЭС (до 54,1%) и других стойких источников загрязнений – устье р. Чапаевка (18,3-59,9%), Кольцово-Мордовинская пойма (26,9-91,0%). Общая встречаемость аномальных особей на всех станциях Саратовского водохранилища в отдельные годы исследования стабильно превышала значение условно принятой нормы для естественных благополучных популяций более чем в два раза.

В Кольцово-Мордовинской пойме Саратовского водохранилища, где исследования молодежи рыб осуществляли ежегодно, среднегодовую встречаемость аномальных особей, соответствующую условной норме для естественных природных популяций, наблюдали только однажды – в 2007 г., она составляла 2,5% (таблица 3).

Морфологическое состояние молодежи рыб в Кольцово-Мордовинской пойме на протяжении ряда лет адекватно характеризует общее состояние молодежи рыб всего Саратовского водохранилища. На Волгоградском водохранилище также сохранялась тенденция встречаемости максимального количества аномальной молодежи рыб в местах повышенного техногенного загрязнения – крупных населенных пунктов, транспортных узлов, промышленных предприятий (таблица 4).

Так, в районе г. Саратова, где в зоне влияния сточных вод отмечены высокие концентрации фосфатов и существенное превышение ПДК по нитритному азоту, встречаемость аномальных личинок и мальков рыб варьировала в пределах 41,5-48,0%. Однако, на станциях, расположенных на расстоянии от источников загрязнения (№ 4, 5, 7) встречаемость аномальных личинок и мальков рыб соответствовала условной норме для благополучных природных популяций. Общий уровень встречаемости аномальных особей по Волгоградскому водохранилищу составил 16,1% и по своему значению был сопоставим с таковым по Саратовскому водохранилищу в отдельные годы: 2007, 2009-2011 гг., что свидетельствует о сходном уровне антропогенного загрязнения данных водоемов.

**Таблица 3.** Встречаемость аномальных особей среди личинок рыб на разных станциях Кольцовско-Мордовинской поймы Саратовского водохранилища в отдельные годы

Год	Встречаемость аномальных особей на разных станциях исследования, %			Общая встречаемость аномальных особей за год, %
	р. Студенка	Кольцовская воложка	Пойменные озера	
1995	25,2**	45,6**	-	27,7**
1996	12,5**	-	8,8*	9,4*
1997	55,6**	88,7**	88,6**	81,5**
1998	0,0	14,5**	-	9,2*
1999	81,3**	-	58,9**	66,3**
2000	55,7**	90,7**	77,0**	75,2**
2002	5,2*	14,8**	-	10,9**
2003	10,7**	6,2*	-	8,7*
2004	17,8**	14,2**	-	17,0**
2005	71,3**	10,2**	-	56,5**
2006	53,0**	91,0**	43,8**	62,6**
2007	26,9**	0,3	-	2,5
2008	5,1*	52,0**	2,9	20,3**
2009	37,7**	-	-	37,7**
2010	14,5**	11,7**	-	12,2**
2011	37,8**	-	-	37,8**
2012	10,1**	-	-	10,1**
2013	23,4**	-	-	23,4**

Примечание: “ - ” – молоди рыб не обнаружено; 0,00, 4,35 – аномальных особей не обнаружено, или их встречаемость не превышает условно принятой нормы; 5,56\* – встречаемость аномальных особей превышает условную норму для благополучных природных популяций; 25,67\*\* – встречаемость аномальных особей более чем в два раза превышает условную норму.

**Таблица 4.** Встречаемость аномальных личинок рыб на разных станциях Волгоградского водохранилища

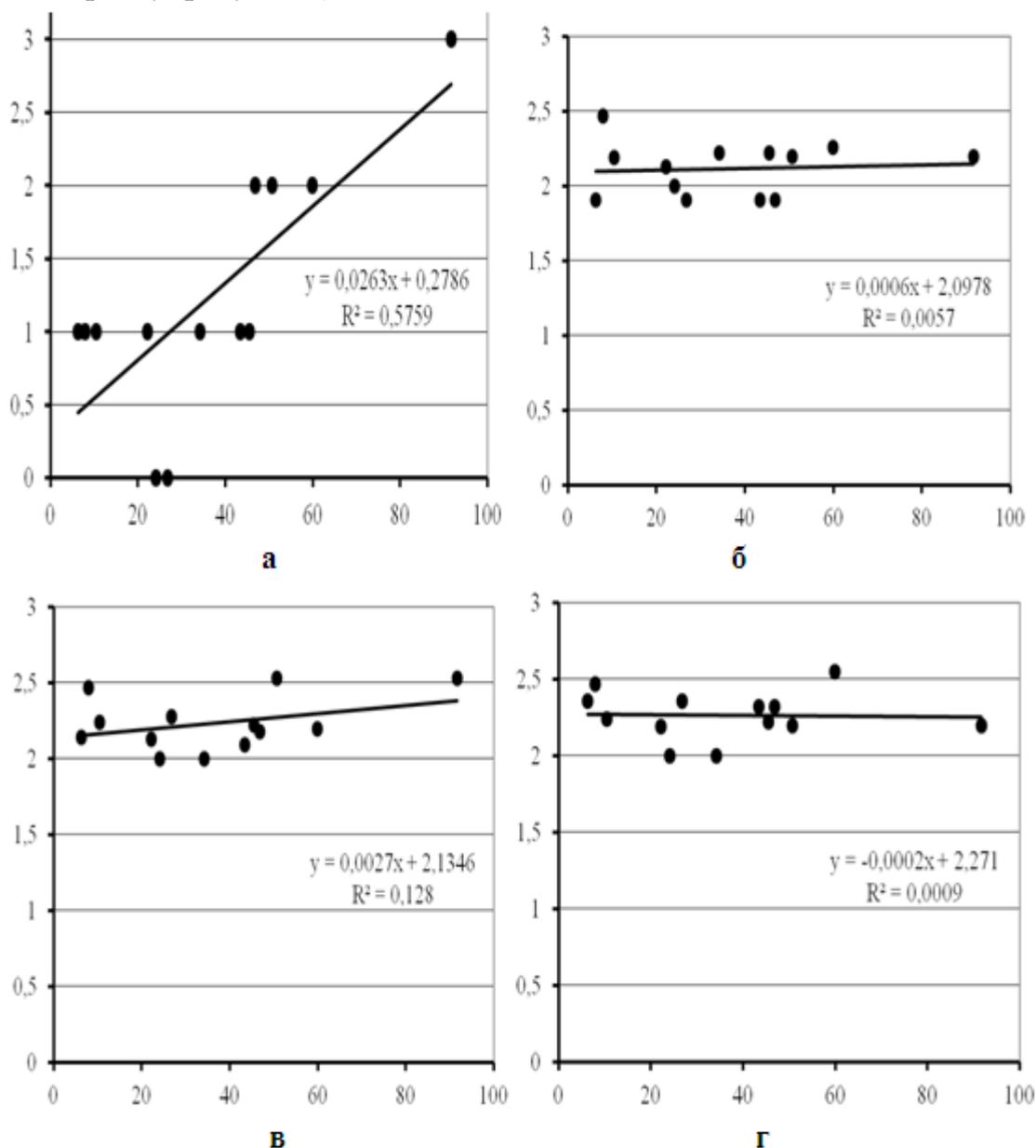
№ и название станции	Содержание загрязняющих веществ	Встречаемость аномальных особей, %
1. 1 км выше г. Саратов	фосфаты 1,5-4,4 ПДК; нитритный азот 4,4-13,5 ПДК; Cu 2,0-7,8 ПДК; Fe <sup>общ.</sup> 1,2-4,3 ПДК	48,0**
3. 1 км ниже г. Саратов	фосфаты 1,5-4,4 ПДК; нитритный азот 4,4-10,5 ПДК; Cu 2,0-5,6 ПДК; Fe <sup>общ.</sup> 1,2-4,3 ПДК	41,5**
6. залив напротив с. Новоникольское	фосфаты 1,5-4,4 ПДК; нитритный азот 1,5-4,5 ПДК; Cu 1,4-5,6 ПДК; Fe <sup>общ.</sup> 1,2-2,3 ПДК	39,5**
4. п. Нижняя Добринка	норма	4,8
5. п. Горный Балыклей	норма	4,8
7. устье р. Оленья	норма	0,0

Примечание: уровень загрязнения по данным о состоянии Волгоградского водохранилища (Доклад о ..., 2012).

Ранее отмечалось, что рыбы более подходят для анализа последствий токсических воздействий неорганических веществ, в то время как бентосные и

планктонные беспозвоночные показательнее реагируют на изменения трофности водоема (Моисеенко и др., 2010). Для подтверждения определяющего воздействия именно неорганических загрязнителей (наиболее распространенным поллютантом в изученных водоемах является  $\text{Cu}$ ) на возникновение аномалий у молоди рыб нами было проведено исследование в контрольных створах приплотинного плеса Куйбышевского (4 станции) и Саратовского водохранилища (9 станций).

Корреляционный анализ с применением коэффициента корреляции Пирсона подтвердил достоверность зависимости встречаемости аномальной молоди в пробах с контрольных станций от содержания в воде  $\text{Cu}$  (с порогом значимости – 0,55 по Пирсону (рисунок 1)).



**Рисунок 1.** Корреляция Пирсона между: а – процентом аномальных особей в пробах и ПДК  $\text{Cu}$ ; б – процентом аномальных особей и индексом сапробности (и.с.) по зоопланктону; в – процентом аномальных особей и и.с. по перифитону; г – процентом аномальных особей и и.с. по фитопланктону.  $R$  – значимость (порог достоверности = 0,55) по Пирсону.

В то же время корреляция встречаемости аномальных рыб и трех индексов сапробности (как по верхней границе значений, так и по нижней) оказалась

недостовойной. То есть загрязненность водоема биогенными веществами в исследованных станциях не влияет на процент аномальных особей в пробах, либо влияет незначительно. В результате определяющим фактором возникновения аномалий у личинок и мальков рыб являются, прежде всего, неорганические загрязнители, являющиеся для молоди рыб наиболее токсичными. Однако, нельзя исключать и потенциального негативного воздействия органических (биогенных) загрязнений, так как они являются частью комплексного загрязнения отдельных участков исследованных водоемов.

На примере р. Позимь, протекающей в черте г. Ижевска, показано, что встречаемость аномальных личинок и мальков рыб может быть очень высокой вследствие повышенного уровня загрязнения даже при благоприятном гидрологическом режиме.

**3.2.2. Встречаемость аномальных особей среди массовых видов рыб.** В рамках исследования изучена молодь рыб 26 видов, среди которых были представители короткоцикловых и длинноцикловых рыб шести семейств, отличающихся особенностями экологии (предпочтение нерестовых субстратов, сроки нереста, особенности питания и т.д.). Наиболее массовой оказалась молодь шести видов карповых рыб: плотва, укля, яз, густера, лещ и красноперка, на результатах изучения морфофизиологического состояния которой и основан данный раздел.

Встречаемость аномальных особей практически не зависит от видовой принадлежности рыб, а находится в прямой зависимости от уровня загрязнения водоема. На примере Саратовского водохранилища показано, что встречаемость аномальных личинок и мальков аналогична среди представителей массовых видов (таблица 5).

**Таблица 5.** Встречаемость аномальных особей среди разных видов рыб Саратовского водохранилища за весь период исследования (1995-2013 гг.)

Вид рыб	Число особей, экз.	N <sup>a</sup> экз.	Доля аномальных особей, %
Плотва <i>R. rutilus</i>	10519	3472	33,0±0,46
Язь <i>L. idus</i>	3854	1305	33,9±0,76
Красноперка <i>S. erythrophthalmus</i>	2417	668	27,6±0,91
Густера <i>B. bjoerkna</i>	2390	918	38,4±0,99
Укля <i>A. alburnus</i>	1900	445	23,4±0,97
Лещ <i>A. brama</i>	1019	271	26,6±1,38

Примечание: N<sup>a</sup> – число аномальных особей.

Данный показатель за весь период исследования варьирует от 23,4% у планктофага укля до 38,4% среди бентофага густеры. В основных притоках Саратовского и Куйбышевского водохранилищ встречаемость аномальных особей среди разных видов рыб также практически не зависит от видовой принадлежности, в то время как зависимость от уровня антропогенной нагрузки ярко выражена. Так, в рр. Нылга и Ува, практически не испытывающих антропогенной нагрузки, среди плотвы, красноперки и укля аномальных особей совсем не обнаружено, а среди густеры доля личинок и мальков с нарушениями морфологии не превышает условно принятой нормы либо превышает ее незначительно (таблица 6).

**Таблица 6.** Встречаемость аномальных особей среди молодежи массовых видов рыб из притоков волжских водохранилищ

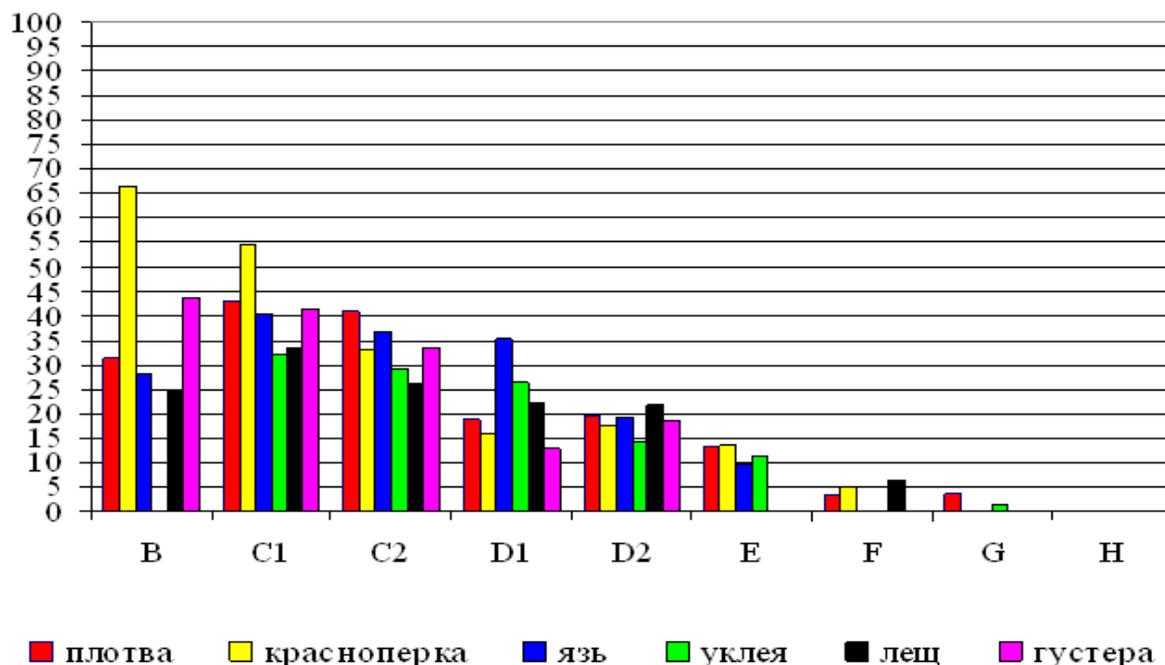
Вид рыб	Доля аномальной молодежи рыб, %									
	Притоки Саратовского водохранилища						Притоки Куйбышевского водохранилища			
	Сок (устье)	Кондурча	Самара	Съезжая	Большой Кинель	Чапаевка	Большой Черемшан	Нылга	Ува	Позимь
Плотва	25,8	1,3	1,9	10,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	24,8
Красноперка	29,8	0,0	0,0	-	-	9,7	0 из 6	-	0,0	57,3
Язь	19,8	0,0	0,0	0 из 3	0,0	1 из 3	0,0	-	-	8,9
Уклея	24,7	5,3	9,7	7,7	1,7	-	13,9	0,0	0,0	-
Лещ	25,0	0,0	3,8	15,4	-	0 из 3	0,0	-	-	10,5
Густера	35,2	-	0,0	-	0,0	18,2	-	5,9	4,9	-

В то же время у молодежи рыб из р. Позимь в черте г. Ижевска, где уровень загрязнения воды высок, процент аномальных особей варьирует среди разных видов от 8,9% у язя до 57,3% среди густеры. В большинстве притоков Саратовского водохранилища у молодежи рыб разных видов не обнаружено аномальных особей: у плотвы из р. Большой Кинель и Чапаевка, у красноперки, язя и густеры из р. Кондурча, Самара и Большой Кинель, у леща из р. Кондурча. В то же время встречаемость аномальных особей не превышает 9,7% среди уклеи из р. Самара, 10,0 и 15,4% среди плотвы и леща из р. Съезжая.

Таким образом, в условиях определенного уровня загрязнения какого-либо водоема или водотока встречаемость аномальных личинок и мальков пропорционально повышается сразу среди всех видов рыб при усилении токсической нагрузки, и, напротив, понижается среди всех исследованных видов рыб при ее понижении.

**3.2.3. Встречаемость аномальных особей среди молодежи массовых видов рыб на разных стадиях эмбрионально-личиночного и малькового развития.** Формирование основных или наиболее важных органов и их систем у исследованных видов рыб (органы чувств, плавники и т.д.) происходит уже на самых ранних стадиях развития предличинок и ранних личинок (А-С<sub>1</sub>), а на последующих стадиях происходит лишь их развитие и дифференцировка. Любые негативные воздействия, в том числе загрязнения, оказывают отрицательное влияние, прежде всего, на стадии бластуляции и гастрюляции икры, когда происходит закладка всех морфологических признаков будущей личинки. Реализация же тех или иных морфологических аномалий происходит по мере формирования различных морфологических признаков в процессе онтогенеза. Так как развитие большинства таких признаков происходит на стадиях С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub> и D<sub>1</sub>, то и встречаемость аномальных особей наиболее велика на данных стадиях развития (рисунок 2).

У молодежи массовых видов рыб Саратовского водохранилища наблюдается постепенное понижение доли аномальных особей от ранних стадий личиночного развития (В и С<sub>1</sub>) до поздних стадий малькового развития (F и G). Среди мальков-сеголеток (стадия H) особей с нарушениями морфологии вовсе не обнаружено. Однако, на самых ранних стадиях личиночного развития (В и С<sub>1</sub>) у молодежи всех шести видов рыб встречаемость аномальных особей достигает высоких и максимальных значений: от 25,0% (лещ В) до 66,7% (красноперка В).



**Рисунок 2.** Встречаемость аномальных особей среди шести видов рыб Саратовского водохранилища на разных стадиях личиночного и малькового развития (%).

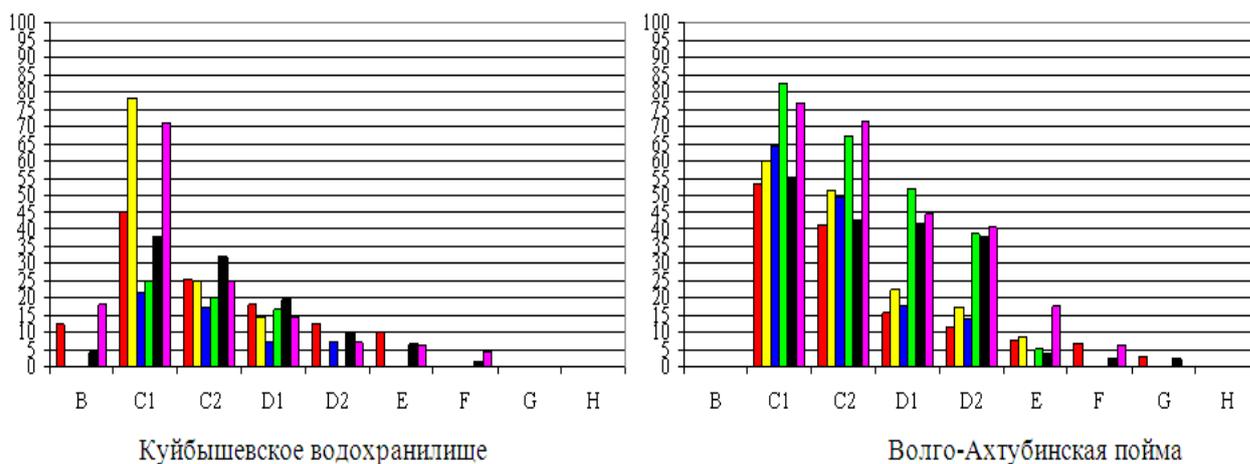
Некоторое повышение встречаемости аномальных личинок от стадии развития В к стадии С<sub>1</sub> мы связываем, прежде всего с тем, что на стадии В многие морфологические признаки еще не сформированы, соответственно, заложенные в них морфологические нарушения еще не реализованы. Но по мере развития признаков на стадиях С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub> (формирование плавников и развитие глазных яблок) проявляются и аномалии, заложенные в них. Дальнейшее понижение встречаемости аномальных личинок и мальков рыб на более поздних стадиях развития происходит по двум основным причинам: во-первых, за счет элиминации аномальных особей в результате их пониженной жизнеспособности, во-вторых, в результате понижения вероятности возникновения различных морфологических нарушений у рыб на более поздних стадиях развития (D<sub>2</sub>-G).

В итоге на поздних мальковых стадиях (F и G) встречаемость аномальных особей среди всех видов рыб соответствует уровню условно принятой нормы для благополучных популяций (5%), либо незначительно превышает эту величину (6,25%, лещ на стадии F) (рисунок 2). Как правило, у поздних мальков (стадии F и G) обнаруживаются нарушения морфологии, существенно не влияющие на жизнеспособность особей, и сохраняется вероятность доживания таких рыб до половой зрелости. Однако среди мальков-сеголеток (стадия H) всех шести видов карповых рыб Саратовского водохранилища аномальных особей не обнаружено.

В водоемах с различающимся гидрологическим режимом и уровнем антропогенной нагрузки, какими являются Куйбышевское водохранилище и водоемы Волго-Ахтубинской поймы, тенденция, описанная выше, сохраняется (рисунок 3).

У мальков-сеголеток (H) разных видов рыб из Куйбышевского водохранилища и водоемов Волго-Ахтубинской поймы особей с нарушениями морфологии не обнаружено. Минимальна доля аномальных поздних мальков (G) среди плотвы (2,8%) и леща (2,3%) Волго-Ахтубинской поймы. В Куйбышевском водохранилище среди мальков на стадии G аномальных особей не обнаружено.

В то же время среди молодежи на ранних стадиях развития ( $C_1$ - $C_2$ ) число особей с нарушениями морфологии велико (рисунок 3), как и в Саратовском водохранилище. Однако к стадиям развития G и H происходит постепенное снижение встречаемости аномальных экземпляров вследствие элиминации.



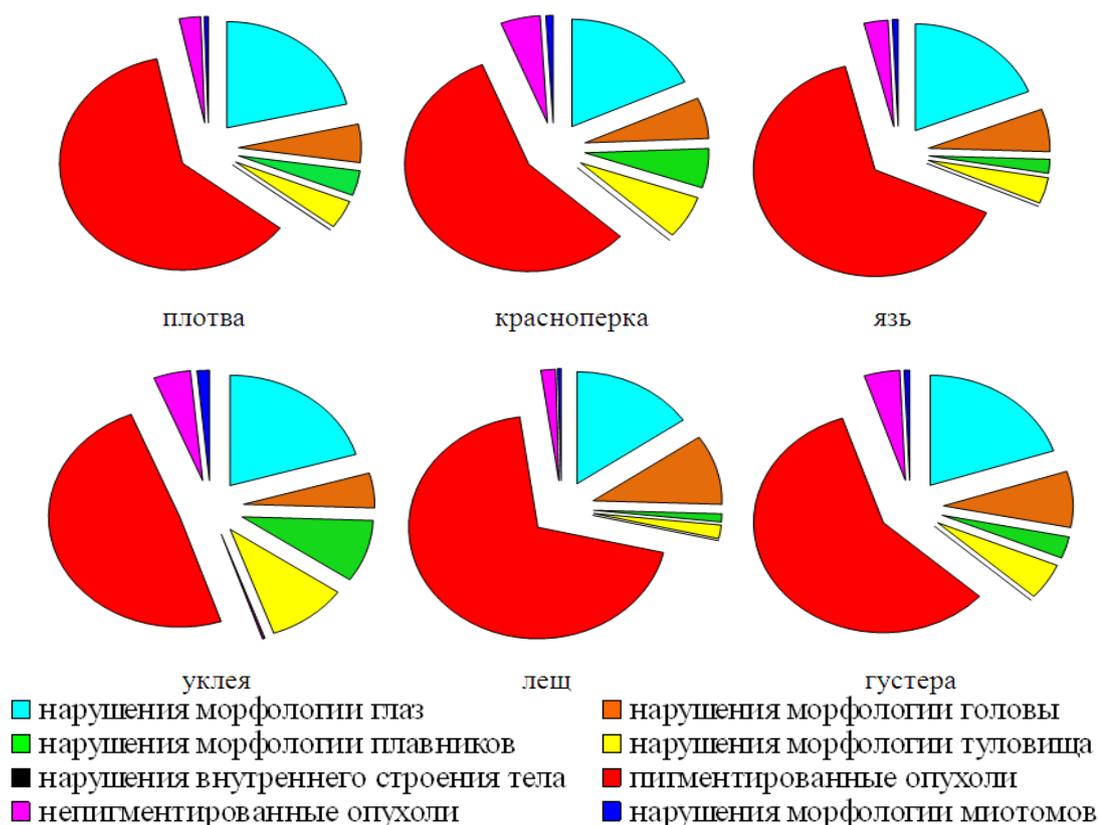
**Рисунок 3.** Встречаемость аномальных особей на разных стадиях личиночного и малькового развития в водоемах Средней и Нижней Волги (%) (обозначения как на рисунке 2).

Для всех исследованных водоемов – Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского водохранилищ, их притоков, водоемов Волго-Ахтубинской поймы динамика плавного снижения встречаемости молодежи рыб с нарушениями морфологии от стадий личиночного развития ( $C_1$ - $C_2$ ) к мальковым стадиям (F-G) является аналогичной, что позволяет считать данную тенденцию закономерной для водоемов с различным уровнем антропогенного загрязнения.

**3.3. Основные закономерности встречаемости различных групп морфологических аномалий у молодежи рыб из изученных водоемов и водотоков.** Все обнаруженные морфологические аномалии условно разделены на восемь групп в соответствии с характером локализации, степенью выраженности, спецификой нарушения органов и тканей. Вследствие большого разнообразия обнаруженных морфологических нарушений, затруднительно проследить и описать встречаемость каждого типа морфологического нарушения как у молодежи рыб разных видов, так и у представителей разных возрастных групп, однако выявление распределения отдельных групп морфологических аномалий не вызывает затруднений.

**3.3.1. Встречаемость основных групп морфологических аномалий у молодежи шести массовых видов рыб Саратовского водохранилища.** Распределение восьми групп морфологических аномалий у молодежи шести массовых видов рыб не имеет существенных различий (рисунок 4). Наиболее часто встречающимися морфологическими аномалиями у всех видов рыб являются пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела, их доля среди других групп морфологических аномалий варьирует от 49,2 (уклея) до 69,1% (лещ). Наиболее редко обнаруживаемыми морфологическими аномалиями являются нарушения внутреннего строения органов и тканей, они зафиксированы единично у двух видов рыб – плотвы (0,03% среди всех обнаруженных аномалий) и уклей (0,04%). Встречаемость основных групп морфологических аномалий и отдельных типов нарушений морфологии не зависит от видовой принадлежности особей, так как у молодежи всех обследованных шести видов карповых рыб Саратовского

водохранилища соотношение разных групп морфологических аномалий аналогично.

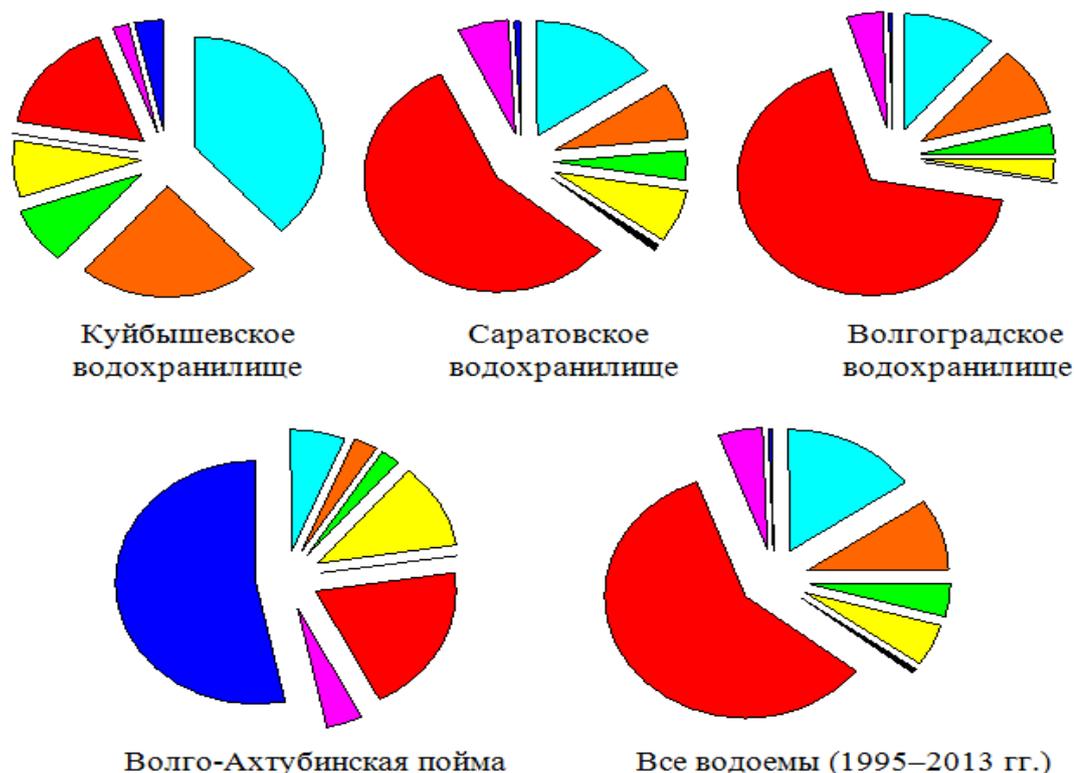


**Рисунок 4.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий среди молоди шести видов рыб Саратовского водохранилища в 1995-2013 гг.

**3.3.2. Встречаемость основных групп морфологических аномалий в водоемах и водотоках с различающимся гидрологическим режимом и уровнем антропогенной нагрузки.** Прослеживается тенденция увеличения разнообразия типов морфологических аномалий и их групп среди молоди от притоков второго порядка к притокам первого порядка и основным водоемам водосбора – водохранилищам Средней и Нижней Волги, что также связано с различным уровнем антропогенных загрязнений изучаемых водоемов и водотоков.

В водохранилищах максимальны как встречаемость особей с аномалиями отдельных групп, так и разнообразие обнаруживаемых типов аномалий (встречаются аномалии всех восьми групп). В Саратовском и Волгоградском водохранилищах у исследованных особей преобладает группа аномалий – пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела (57,6% и 67,5% соответственно), включающая в себя пигментированные новообразования около одного или обоих глазных яблок, нарушения видоспецифичного пигментного рисунка тела и др. (рисунок 5).

В Куйбышевском водохранилище и Волго-Ахтубинской пойме у молоди рыб обнаружены те же восемь групп аномалий, однако доминирующими оказались нарушения морфологии глаз и миотомов (Минеев, 2013). Выявить достоверные причины данного различия не удалось, и существующая научная проблема требует отдельного более углубленного и длительного исследования.



**Рисунок 5.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги в 1995–2014 гг. (обозначения секторов как на рисунке 4).

Мы предполагаем, что одной из основных причин, вызывающих различное распределение морфологических аномалий разных групп как в отдельных водохранилищах Средней и Нижней Волги, так и в пределах одного водоема и водотока, является присутствие в воде такой группы загрязнителей как ХПК – трудноокисляемых органических веществ (по химическому потреблению кислорода). Эта группа загрязняющих веществ включает до полутора тысяч химических соединений, однако анализ воды проводится лишь на общее содержание веществ данной группы. Таким образом, невозможно учесть эффект воздействия каждого поллютанта на возникновение различных групп морфологических аномалий у молоди рыб. Сложно также проанализировать, каким образом вещества данной группы взаимодействуют между собой и с загрязнителями других групп, синергические и аддитивные эффекты при этом также непредсказуемы.

ХПК постоянно присутствуют в воде исследованных нами водоемов и водотоков. Наиболее сходное максимальное / среднегодовое содержание ХПК наблюдается в Саратовском (7 / 1,6 ПДК) и Волгоградском водохранилищах (6 / 1,5 ПДК), распределение основных групп морфологических аномалий среди молоди рыб данных водоемов также аналогично (рисунок 5). По данным лаборатории мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН, на протяжении последних десятилетий в верховьях Саратовского водохранилища (2 км ниже Жигулевской ГЭС) содержание ХПК в воде стабильно превышает норму (15,0 мг/л – рыбохозяйственная ПДК). Так в нерестовый период 2007 г. (май, июнь) содержание ХПК достигало 27,6 мг/л – 34,5 мг/л, что соответствует 1,84 и 2,3 ПДК, минимальные значения фиксировались в мае 2008 г. – 22,2 мг/л (1,48 ПДК).

Таким образом, на основе анализа встречаемости морфологических аномалий у личинок и мальков рыб разных возрастных групп можно адекватно судить об

экологическом состоянии исследуемого водоема и характере и качестве пополнения популяций волжских рыб в сложившихся экологических условиях.

В притоках Куйбышевского водохранилища пятого порядка (рр. Нылга и Ува, Удмуртская республика), не испытывающих существенной антропогенной нагрузки, разнообразие обнаруженных у молоди рыб морфологических аномалий невелико или сведено к минимуму. В р. Нылга при 4,2% аномальных особей среди молоди рыб обнаружено всего четыре типа морфологических аномалий, относящихся к четырем группам, а в р. Ува при 3,0% аномальных личинок у рыб зафиксировано всего два типа морфологических аномалий, относящихся к двум группам (Минеев, Калинин, 2013). В обоих случаях доминирующими оказались пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела.

#### **ГЛАВА 4. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ У ПОЛОВОЗРЕЛЫХ РЫБ МАССОВЫХ ВИДОВ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ (НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

В период исследований (1996-2013 гг.) на акватории Саратовского водохранилища в уловах неоднократно обнаруживали половозрелых рыб с морфологическими аномалиями, но из-за единичности и нерегулярности находок невозможно проследить закономерности встречаемости того или иного нарушения морфологии у взрослых особей. Внешние проявления различных отклонений в морфологии, как правило, не отличаются от таковых у молоди рыб, однако встречаются значительно реже. Если у личинок и мальков доля аномальных особей в отдельно взятом районе водоема может составлять до 91,7%, а встречаемость какого-либо типа нарушений иногда достигает 87,4% (например, пигментомы в области глаз) (Евланов и др., 1999, Минеев, 2010, 2011), то у взрослых особей морфологические аномалии встречены единично. Многие разновидности морфологических нарушений, обнаруживаемых у молоди рыб, у взрослых особей не встречаются, так как экземпляры с такими аномалиями погибают в личиночном возрасте. К подобным нарушениям относятся такие, например, как общее недоразвитие головы, отсутствие обоих грудных плавников, глаз и т.п.

За весь период исследования у половозрелых рыб Саратовского водохранилища было зафиксировано 26 типов морфологических аномалий. Основную долю (среди рыб с зафиксированными морфологическими дефектами) составляли особи с аномалиями в строении боковой линии (54,3%), которые, по всей видимости, не оказывают заметного влияния на жизнеспособность. От общего количества обследованных особей доля таких рыб была максимальной, но составила всего 0,3%.

Такие аномалии как отсутствие глазного яблока, отсутствие брюшного плавника, искривления и недоразвитие челюстей, существенно ограничивающие функциональные возможности организма встречались у рыб единично. Процент таких особей не превышал 0,02% среди 6223 обследованных в Саратовском водохранилище.

При достаточно представительной выборке взрослых рыб общее количество экземпляров с аномалиями среди всех обследованных не превышало 0,6%. Не велика доля аномальных особей и среди отдельных видов рыб, данный показатель варьировал от 0,2% (плотва) до 2,9% (синец) (таблица 7).

Наличие аномалий у взрослых рыб является следствием воздействия неблагоприятных факторов, оказанного на отдельную особь в период эмбриогенеза, за исключением, возможно, новообразований, которые могут возникать у рыб в любом возрасте. Так, среди личинок и мальков массовых видов

рыб Саратовского водохранилища на протяжении ряда лет постоянно отмечается большое количество особей с разнообразными морфологическими аномалиями (Минеев, 2007, 2001; Розенберг и др., 2011).

**Таблица 7.** Встречаемость особей с морфологическими аномалиями среди половозрелых рыб разных видов в Саратовском водохранилище

Вид рыб	Число исследованных особей, экз.	Число аномальных особей, экз.	Доля аномальных особей, %
Плотва	1079	4	0,4±0,18
Язь	244	0	0,0
Уклея	427	2	0,5±0,33
Красноперка	319	2	0,6±0,44
Лещ	718	4	0,6±0,34
Густера	483	2	0,4±0,29
Окунь	634	6	0,9±0,39
Синец	415	12	2,9±0,82
Бычок-кругляк	854	2	0,2±0,16
Бычок-головач	469	0	0,0
Бычок-цуцик	317	1	0,3±0,30
Ротан-головешка	264	0	0,0
<b>Общее количество</b>	<b>6223</b>	<b>35</b>	<b>0,6±0,09</b>

Встречаемость различных типов аномалий у молоди рыб не зависит от их видовой принадлежности, соответственно, и у взрослых особей не может быть такой зависимости.

До половозрелого состояния доживали рыбы, у которых уродства не оказывали заметного влияния на их жизнеспособность, то есть в редких случаях не были летальными для особей и в период их личиночного развития, что является крайне редким явлением. Наличие морфологических аномалий у взрослых рыб является одним из доказательств высокой степени антропогенной нагрузки на экосистему Саратовского водохранилища и Нижней Волги в целом. Однако встречаемость половозрелых рыб с морфологическими отклонениями не может служить надежным показателем экологического состояния водоема в момент вылова таких особей.

## **ГЛАВА 5. НАРУШЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ ИЗ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ С РАЗЛИЧАЮЩИМСЯ УРОВНЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

В исследованных водоемах, испытывающих разную антропогенную нагрузку, у половозрелых представителей массовых видов рыб обнаружены многочисленные патологии клеток крови и нарушения гематологических параметров, а также патологии внутренних органов и тканей (жабр, печени, сердечной мышцы, гонад). Установлено, что встречаемость рыб с подобными патологиями, а также разнообразие типов морфофизиологических нарушений, не зависит от видовой принадлежности особей, но находится в прямой зависимости от уровня загрязнения водоема.

**5.1. Нарушения гематологических показателей у половозрелых особей.** Рыбы очень чувствительны к содержанию в воде химических агентов и отвечают

на их присутствие изменениями как в белой, так и в красной крови, даже если их концентрация не превышает ПДК (Заботкина и др., 2000; Каниева, 2002). На примере популяций леща из разных участков Верхнеульяновского плеса Куйбышевского водохранилища, характеризующихся экстремальными экологическими условиями, показана зависимость гематологических показателей (прежде всего – клеточного состава крови) от состояния среды обитания (Богатов, Назаренко, 2004).

При воздействии неблагоприятных факторов, вслед за изменениями биохимических показателей, возникают нарушения в гематологических параметрах, прежде всего – в лейкоцитарной формуле. В условиях эксперимента у всех подопытных рыб на фоне действия токсикантов наблюдается смещение лейкоцитарной формулы в сторону увеличения гранулоцитов, что свидетельствует о начале воспалительных процессов (Михайлова, 2004).

Установлено (Минеев, 2007, 2012, 2014), что гематологические параметры рыб разных видов в условиях Саратовского водохранилища подвержены негативным изменениям.

**5.1.1. Классификация патологий эритроцитов.** В экологических условиях водоемов Средней и Нижней Волги у рыб зарегистрировано 23 типа патологических изменений в структуре эритроцитов. В Саратовском водохранилище, где уровень антропогенных загрязнений достаточно высок, у всех исследованных видов рыб велика доля особей, в кровяном русле которых содержатся эритроциты с различными типами патологий. Среди 2309 экземпляров рыб разных видов, изученных за весь период исследования, доля особей без aberrантных форм эритроцитов в красной крови (здоровых по данному признаку) составила всего 22,9% (таблица 8).

**Таблица 8.** Встречаемость половозрелых особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле среди разных видов рыб Саратовского водохранилища

Вид рыб	Число особей, экз.	Доля рыб без патологий эритроцитов, %	Доля рыб с патологиями эритроцитов, %	
			Особи с единственным типом патологии в кровяном русле	Особи с двумя и более типами патологий в кровяном русле
Плотва	423	26,9±2,16	33,1±2,30	39,2±2,38
Лещ	294	20,4±2,35	42,9±2,89	36,7±2,82
Густера	224	20,1±2,68	36,6±3,23	43,3±3,32
Уклея	307	20,2±2,29	40,4±2,81	39,4±2,79
Окунь	278	24,8±2,59	34,2±2,85	41,0±2,95
Щука	74	27,0±5,20	35,1±5,59	37,8±5,68
Ротан-головешка	250	16,4±2,35	37,2±3,06	46,4±3,16
Бычок-кругляк	282	26,6±2,64	24,8±2,58	48,6±2,98
Бычок-головач	114	30,0±4,34	23,7±4,00	45,6±4,69
Бычок-цуцик	63	11,1±3,99	38,1±6,17	50,8±6,35
<b>Общие данные по водохранилищу</b>	<b>2309</b>	<b>22,9±0,76</b>	<b>35,1±0,99</b>	<b>42,1±1,03</b>

Основу популяций составили особи с одним или несколькими типами патологий эритроцитов в красной крови. Аналогичная ситуация наблюдалась и в

Куйбышевском водохранилище. В притоках водохранилищ встречаемость особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле существенно отличается от таковой в самих водохранилищах. Наибольшая концентрация поллютантов фиксируется, как правило, в прибрежных зонах крупных населенных пунктов по берегам водоемов и водотоков (таблица 1). В таких экологических условиях основу популяций составляют особи без патологий эритроцитов. Так, в рр. Ува и Нылга (притоках Куйбышевского водохранилища 5-го порядка), доля здоровых особей по данному показателю достигала 66,7 и 63,9%, соответственно.

Исключение составили особи плотвы и уклей из р. Позимь, являющейся притоком Куйбышевского водохранилища третьего порядка. Все обследованные рыбы были выловлены в городской черте г. Ижевск, где высок уровень загрязнения водных масс техногенными поллютантами, и животные находятся под их хроническим воздействием. В этих условиях процент особей с двумя и более типами aberrantных эритроцитов достигает 62,9% у плотвы и 71,2% среди уклей, то есть такие особи составляют основу популяции. Лишь 15,4% особей уклей и 29,6% плотвы не имели в крови патологических эритроцитов (были здоровы по данному признаку).

### **5.1.2. Встречаемость особей с отдельными типами патологий эритроцитов.**

Наибольшее разнообразие патологий эритроцитов обнаружено у рыб Саратовского водохранилища (21 тип). При этом у представителей видов бычковых и ротаноголовешки зафиксировано на два типа патологий больше, чем у карповых рыб, окуня и щуки.

Как среди бычковых Саратовского водохранилища, так и среди карповых, в кровяном русле доминирующими являлись лишь некоторые типы патологий эритроцитов: произвольная деформация клетки, ацентрическое расположение ядра и вакуолизация эритроцита.

Встречаемость особей с произвольной деформацией эритроцитов в кровяном русле была аналогичной у всех видов рыб Саратовского водохранилища. Она варьировала от 41,3% (окунь) до 61,2% (лещ) при высоком среднем содержании таких эритроцитов в крови – от 12,4% (плотва) до 20,2% (густера). Высока также была встречаемость деформированных эритроцитов в крови отдельных особей карповых рыб – от 34,0% aberrantных эритроцитов у леща до 81,9% у густеры. Такая же ситуация наблюдалась у рыб разных видов в Куйбышевском водохранилище и в притоках обоих водоемов.

Наиболее распространенные и массовые типы патологий эритроцитов – произвольная деформация эритроцита, ацентрическое ядро, вакуолизация клетки, вздутие эритроцита, сморщивание клетки и шистоцитоз, обнаружены у представителей всех изученных видов во всех обследованных водоемах. При этом частота встречаемости особей с этими эритроцитарными аномалиями, среднее и максимальное содержание aberrantных клеток в крови отдельных особей аналогичны среди представителей разных видов рыб в отдельно взятых водоемах.

### **5.1.3. Встречаемость особей с нарушениями основных гематологических параметров среди массовых видов рыб.**

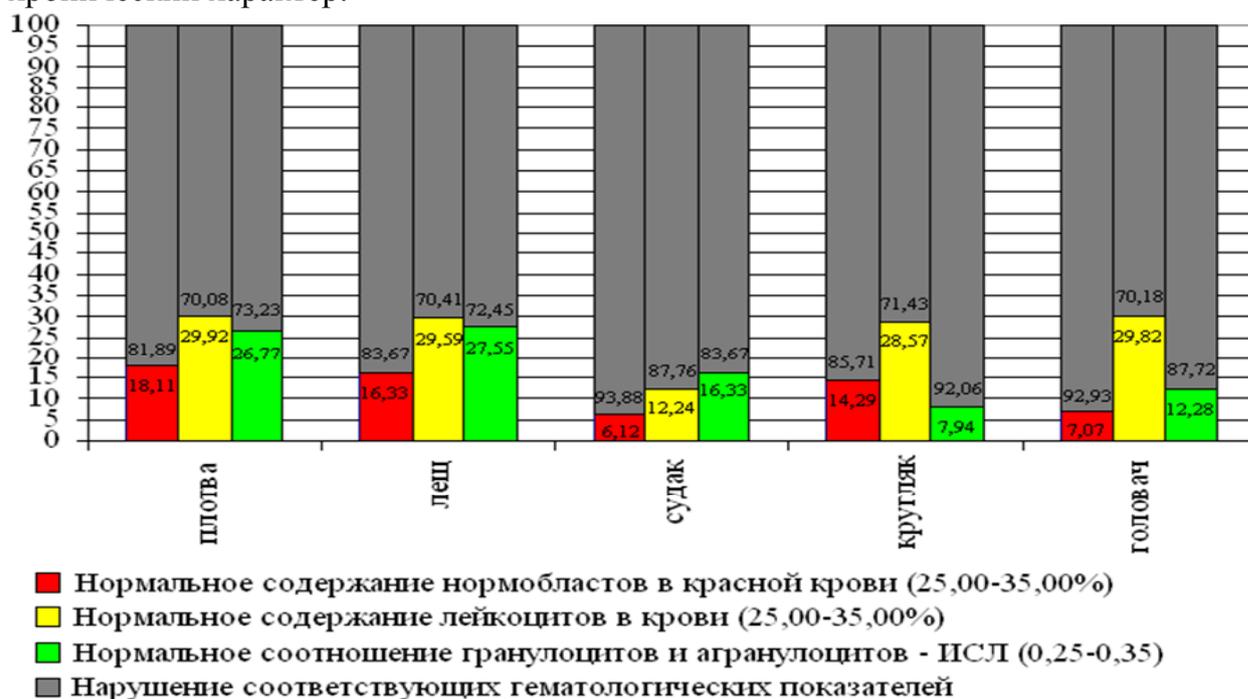
Установлено, что встречаемость особей с различными отклонениями в изученных гематологических параметрах (содержание нормобластов в красной крови, соотношение лейкоцитов и эритроцитов, индекс сдвига лейкоцитов) в водоемах Средней и Нижней Волги не зависит от видовой принадлежности и экологических предпочтений рыб, но находится в прямой зависимости от характера и степени воздействия различных неблагоприятных факторов среды. Чем выше уровень антропогенного загрязнения водоема, тем выше встречаемость одних и тех же типов патологий эритроцитов и

отклонений в гематологических параметрах у представителей разных видов рыб (карповых, окуневых, бычковых), что в сходных экологических условиях указывает на неспецифический характер данных нарушений.

Результаты гематологического анализа особей разных видов показывают, что наиболее загрязненными, а, следовательно, менее пригодными для успешной жизнедеятельности рыб, являются следующие волжские водоемы – Куйбышевское (рисунок 6) и Саратовское водохранилища, а также р. Позимь (рисунок 7), подвергающаяся влиянию хронических бытовых и промышленных загрязнений в городской черте г. Ижевска.

В то же время, особи разных видов рыб из основных притоков водохранилищ находятся в более благоприятных экологических условиях вследствие менее выраженной антропогенной нагрузки на данные водоемы. В итоге у рыб из этих водоемов (на примере притоков Куйбышевского водохранилища) встречаемость особей с различными нарушениями гематологических параметров значительно ниже, чем в водохранилищах, а основу популяций составляют особи без тех или иных гематологических отклонений (рисунок 7).

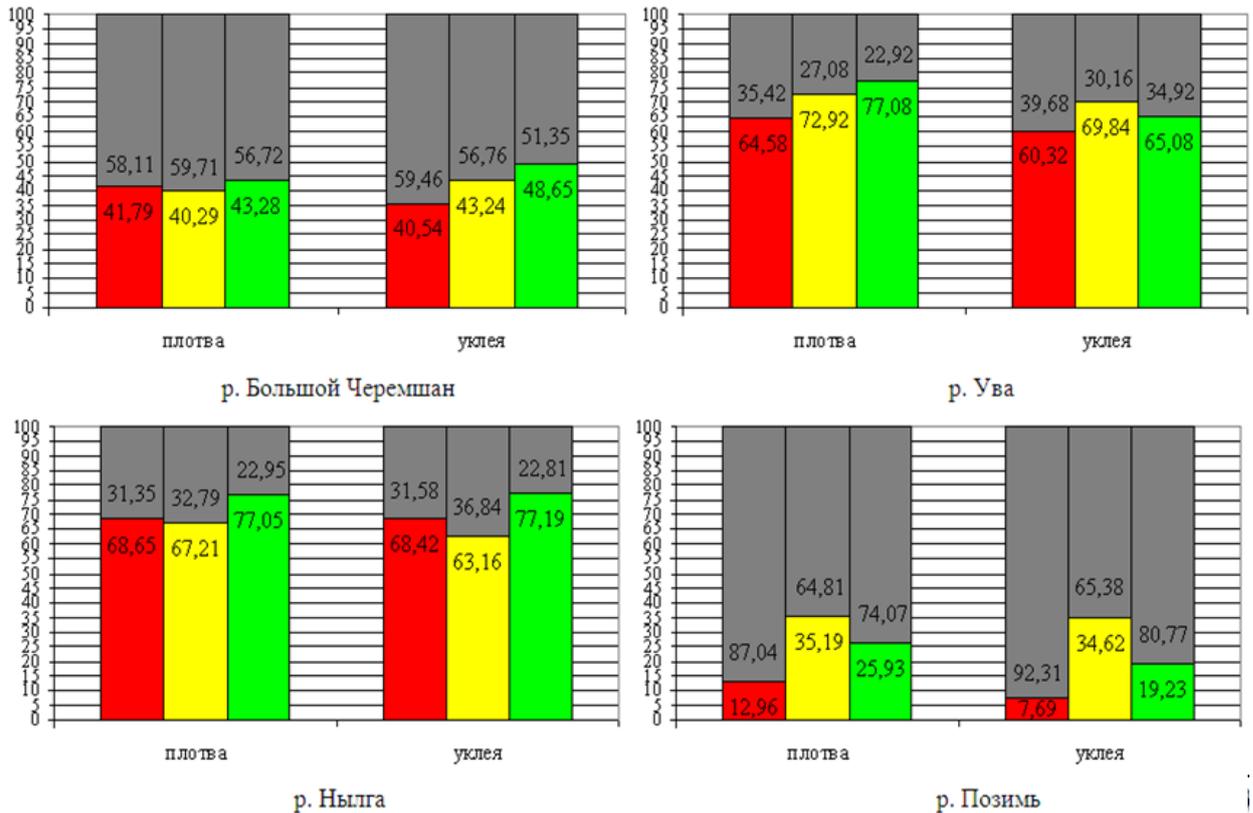
При возможной нормализации условий обитания (снижении уровня загрязнений) некоторые гематологические параметры могут возвращаться к состоянию нормы в силу повышенной реактивности крови, т.е. могут считаться обратимыми. Однако в большинстве случаев этого не происходит, так как уровень загрязнения волжских водохранилищ (в отличие от большинства обследованных их притоков) имеет хронический характер.



**Рисунок 6.** Встречаемость особей с различными значениями трех гематологических показателей среди разных видов рыб Куйбышевского водохранилища.

При этом возникающие у рыб гематологические нарушения приобретают хроническую форму.

Следующим этапом нарушения морфофизиологического состояния особей является возникновение тканевых патологий, которые, в свою очередь, являются необратимыми.



**Рисунок 7.** Встречаемость особей с различными значениями трех гематологических показателей среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища (обозначения как на рисунке 6).

**5.2. Гистопатологии внутренних органов у половозрелых особей.** Гистопатологические изменения являются интегральным результатом разнообразных продолжительных биохимических и физиологических изменений в организме (Heath, 2002; Lawrens et al., 2003). В экологических условиях Саратовского, Куйбышевского водохранилищ и их притоков у разных видов рыб нами зафиксировано 56 типов патологий внутренних органов: 21 тип патологий жабр, 11 – печени, 17 – гонад и 7 – миокарда. Большинство обследованных рыб имеет гистологические патологии более чем в одном органе, а в исследованных водохранилищах встречаемость особей без гистопатологий жабр, печени, гонад и миокарда значительно ниже, чем среди рыб из притоков.

Во всех обследованных водоемах наиболее часто фиксировались животные с патологиями жабр. В Куйбышевском и Саратовском водохранилищах такие особи составили основу популяций. У плотвы Саратовского водохранилища доля рыб с гистопатологиями жаберного аппарата была минимальной – 58,1%, тогда как среди бычка-цуцика из данного водоема процент таких особей достигал 93,4%. В Куйбышевском водохранилище встречаемость особей с патологиями жабр варьировала от 68,3% среди бычка-кругляка до 81,7% среди леща.

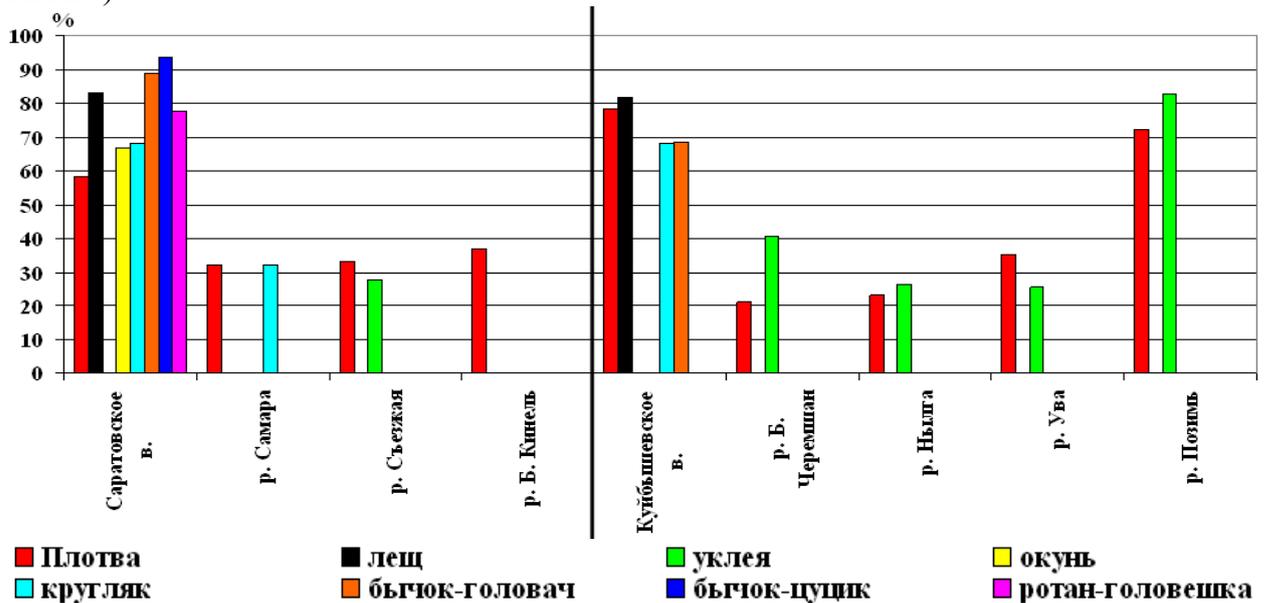
Патологии жабр обнаружены у наибольшего количества обследованных особей в обоих водохранилищах, так как жабры являются органом, напрямую испытывающим непосредственное воздействие неблагоприятных факторов среды. В притоках водохранилищ, где уровень загрязнений значительно ниже, встречаемость особей с гистопатологиями жабр была понижена. В р. Большой Кинель (приток Саратовского водохранилища) максимальная доля особей плотвы с жаберными патологиями не превышала 36,8%, а в р. Ува наибольший процент таких рыб составлял 35,4%. Исключением являлись особи плотвы и уклеи из р.

Позимь, где высок уровень содержания в воде различных загрязнителей, там встречаемость рыб с гистопатологиями жабр составила 72,2% (плотва) и 82,7% (укляя), что сравнимо с долей таких особей в водохранилищных популяциях.

В ряду органов жабры → печень → гонады → миокард выявлена тенденция снижения доли особей с гистопатологиями каждого органа. Такая закономерность стабильно сохраняется в водоемах с разным уровнем антропогенной нагрузки, какими являются волжские водохранилища и их притоки.

**5.2.1. Встречаемость особей с гистопатологиями жаберного аппарата.** В разделе приведены иллюстрации и описание 21 типа гистопатологий жабр, обнаруженных у рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ и их притоков разного порядка. Процент встречаемости рыб с различными типами гистопатологий жабр (рисунок 8) и разнообразие обнаруживаемых патологий напрямую зависят от уровня антропогенного загрязнения изучаемых водоемов или водотоков, а видовая принадлежность и экологические особенности рыб не являются определяющими факторами.

Самая высокая встречаемость рыб с гистопатологиями жабр зафиксирована среди всех обследованных видов Саратовского, Куйбышевского водохранилищ и р. Позимь, характеризующихся высоким уровнем антропогенного загрязнения (рисунок 8). В водотоках с наименьшим уровнем загрязнения (р. Нылга и р. Ува) основу популяций плотвы и уклей составляли здоровые особи, а процент рыб с гистопатологиями жабр не превышал 35,4% (плотва р. Ува) и 26,3% (укляя р. Нылга).



**Рисунок 8.** Встречаемость особей с гистопатологиями жабр (%) среди обследованных видов рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги.

Наиболее часто регистрируемой гистопатологией жабр во всех водоемах являлись искривления ламелл; встречаемость рыб с такой патологией в Саратовском водохранилище достигала 70,5% (бычок-цуцик), в Куйбышевском – 40,9% (лещ), и не превышала 14,6% у плотвы из р. Ува.

**5.2.2. Встречаемость особей с гистопатологиями печени.** Печень не подвержена прямому воздействию загрязняющих веществ, содержащихся в воде, поллютанты влияют на ее строение и функции опосредованно – через кровь. По гистологическому состоянию печени можно успешно и относительно точно судить о состоянии внешних условий среды обитания той или иной особи. У рыб

Саратовского, Куйбышевского водохранилищ и их притоков обнаружено 11 типов гистопатологий печени. Особи с гистопатологиями печени наиболее часто обнаруживались в водоемах с наибольшим уровнем антропогенного загрязнения (рисунок 9).

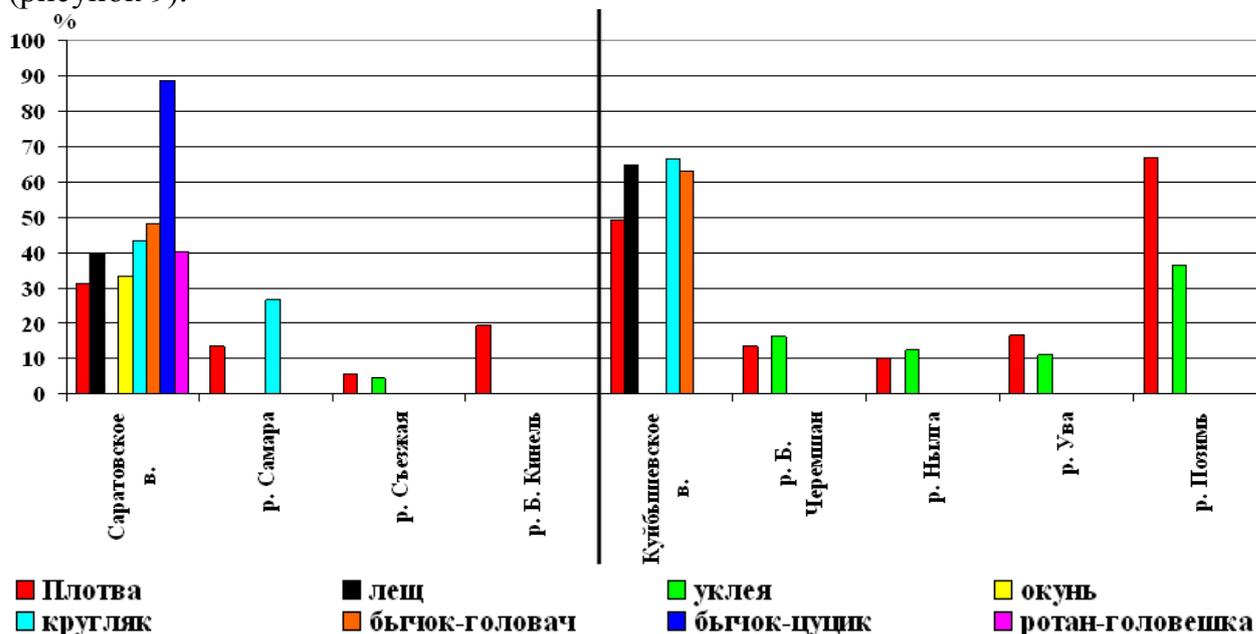


Рисунок 9. Встречаемость особей с гистопатологиями печени (%) среди обследованных видов рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги.

Наибольшая доля особей с патологиями печени и максимальное разнообразие типов нарушений отмечено в наиболее загрязненных водоемах – Саратовском (до 67,2% бычка-цуцика с вакуольной дистрофией гепатоцитов), Куйбышевском водохранилищах (до 53,9% бычка-кругляка с вакуольной дистрофией), и в р. Нылга в городской черте г. Ижевск (до 16,7% плотвы с липоидной дегенерацией гепатоцитов). В других притоках водохранилищ, где уровень загрязнений не так высок, данные показатели заметно снижены.

**5.2.3. Встречаемость особей с гистопатологиями гонад.** Различные ксенобиотики вызывают повреждения гонад на ранних стадиях жизненного цикла в дозах, не приносящих вреда взрослым особям (Guillete et al., 1995). В разделе приведены иллюстрации и описание 17 типов гистопатологий гонад, обнаруженных у рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ и их притоков разного порядка. Встречаемость рыб с различными гистопатологиями гонад и их разнообразие, как и в случае с другими органами, зависят от уровня загрязнения водоема и не зависят от вида рыб. Среди рыб Саратовского водохранилища встречаемость особей с наиболее распространенной резорбцией ооцитов достигала 21,4% (бычок-головач), в Куйбышевском – 19,7% (лещ), в наименее загрязненной р. Ува доля рыб с данной патологией не превышала 8,3% (плотва).

**5.2.4. Встречаемость особей с гистопатологиями миокарда.** У рыб из исследованных водоемов и водотоков зафиксировано 7 типов гистопатологий миокарда. Обнаружение таких патологий в ткани органа, который является наиболее физиологически защищенным от внешних воздействий, свидетельствует о сильном хроническом влиянии на организм неблагоприятных факторов среды (в первую очередь – комплексного антропогенного загрязнения). Встречаемость особей с гистопатологиями миокарда и разнообразие обнаруживаемых нарушений полностью повторяет таковую для других обследованных органов, т.е. напрямую зависит от уровня загрязнения водоема и не зависит от видовой принадлежности

особей. У рыб в водохранилищах обнаружены все 7 типов гистопатологий миокарда, встречаемость особей с наиболее распространенной дистрофией миофибрилл достигала 17,5% у окуня в Саратовском водохранилище и 25,4% у бычка-кругляка в Куйбышевском. В наименее загрязненных реках Нылга и Ува рыб с гистопатологиями миокарда не встречено.

## **ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ У РЫБ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ**

На основе *общего индекса заболеваний рыб в конкретной зоне загрязнения – Z* (по: Т.И. Моисеенко и др., 2010) показано, что максимальных значений данный показатель достигает в наиболее техногенно загрязненных акваториях: вблизи крупных городов и населенных пунктов, объектов промышленной и транспортной инфраструктуры (рисунок 10). При расчете *Z* учитывалось морфологическое состояние молоди рыб и морфофизиологические показатели половозрелых особей. Если в водоеме все рыбы не имеют признаков токсикозов, то  $Z=0$ , чего в наших исследованиях не наблюдалось. Значение индекса повышается как при увеличении числа больных особей, так и при повышении тяжести заболевания (Моисеенко и др., 2010).

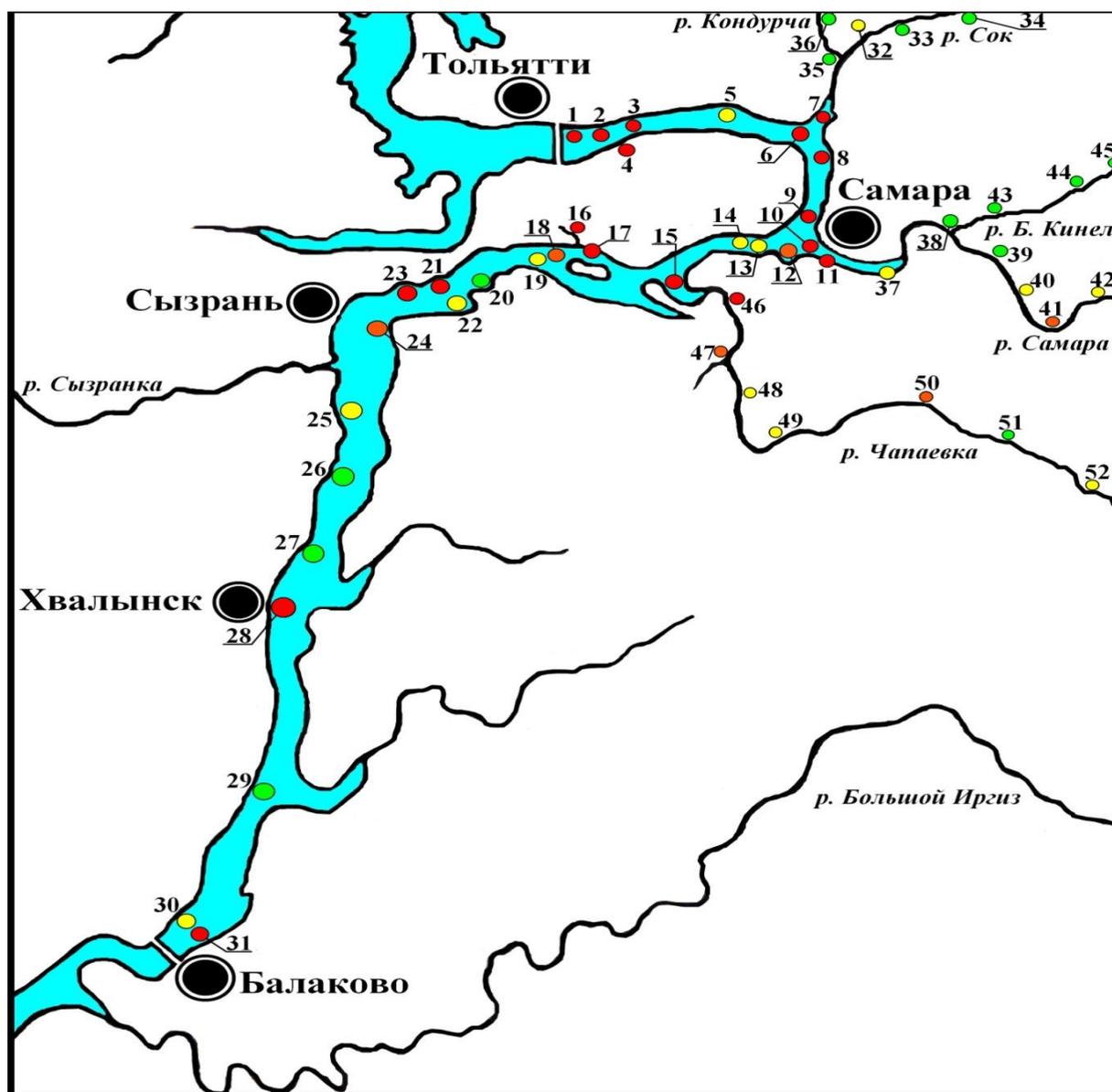
Незначительные отклонения от нормы, не представляющие существенной угрозы для жизни организма у взрослых рыб и низкое (в пределах условной нормы, либо незначительно превышающее ее) содержание аномальной молоди в пробах фиксировалось нами в притоках Куйбышевского водохранилища – рр. Нылга и Ува, являющихся незагрязненным контролем.

Подобная ситуация была характерна и для других притоков: р. Большой Кинель (Саратовское водохранилище) и Большой Черемшан (Куйбышевское водохранилище), а также для участков водохранилищ удаленных от источников постоянного техногенного загрязнения: станции № 20, 26, 27, 29 (Саратовское водохранилище) (рисунок 10). В этих районах *Z* не превышал 0,11, что соответствует низкой встречаемости особей с морфофизиологическими нарушениями среди молоди и половозрелых рыб, а характер обнаруживаемых отклонений в изучаемых гематологических и гистологических параметрах имел слабовыраженный характер. В то же время в районах таких крупных промышленных и транспортных центров как Тольятти, Самара, Сызрань, Хвалынский, Балаково, в устьевых участках р. Сок, Самара, Чапаевка (рисунок 10), характеризующихся стабильно высоким уровнем загрязнения, значение *Z* превышало 0,53, что соответствовало высокой встречаемости аномальной молоди рыб и половозрелых особей с морфофизиологическими нарушениями, соответствующими отклонениям средней тяжести и ярко выраженным симптомам интоксикации.

В главе также объяснены основные механизмы и закономерности возникновения морфофизиологических нарушений у рыб разных видов и возрастов из водоемов Средней и Нижней Волги (рисунок 11).

Согласно предложенной нами схеме, нормальное состояние водной среды может быть нарушено либо кратковременным сублетальным воздействием загрязнителя (или комплекса загрязнителей), либо резким стрессовым воздействием токсикантов, в результате которого наступает быстрая интоксикация и последующая элиминация организма – стадия деструкции. В первом случае возникает лишь некоторое, иногда незначительное, ухудшение условий среды обитания. Подобное ухудшение может иметь очаговый кратковременный характер

и вызывать реакцию тревоги у взрослого организма, после чего происходит нормализация условий обитания и возврат состояния организма к норме. Однако даже при кратковременном сублетальном воздействии негативных факторов возникают многочисленные морфологические аномалии у молоди рыб, которые приводят, как правило, к элиминации особей. Сублетальное воздействие негативных факторов среды может сохраняться длительное время, в результате чего организм половозрелой особи переходит от реакции тревоги к стадии возникновения обратимых адаптивных реакций – стадия резистентности организма.



**Рисунок 10.** Встречаемость особей с морфофизиологическими нарушениями (среди молоди и взрослых рыб) в участках Саратовского водохранилища и его притоках с разным уровнем антропогенной нагрузки:

- – доля особей с морфофизиологическими нарушениями не превышает 5,00% (норма по В.С. Кирпичникову, 1987),  $Z = 0-0,11$ ;
- – доля особей с морфофизиологическими нарушениями составляет 5,00–10,00%,  $Z = 0,12-0,25$ ;
- – доля особей с морфофизиологическими нарушениями составляет 10,00–20,00%,  $Z = 0,26-0,52$ ;
- – доля особей с морфофизиологическими нарушениями превышает

20,00% (превышение условной нормы более чем в 4 раза),  $Z > 0,53$ .

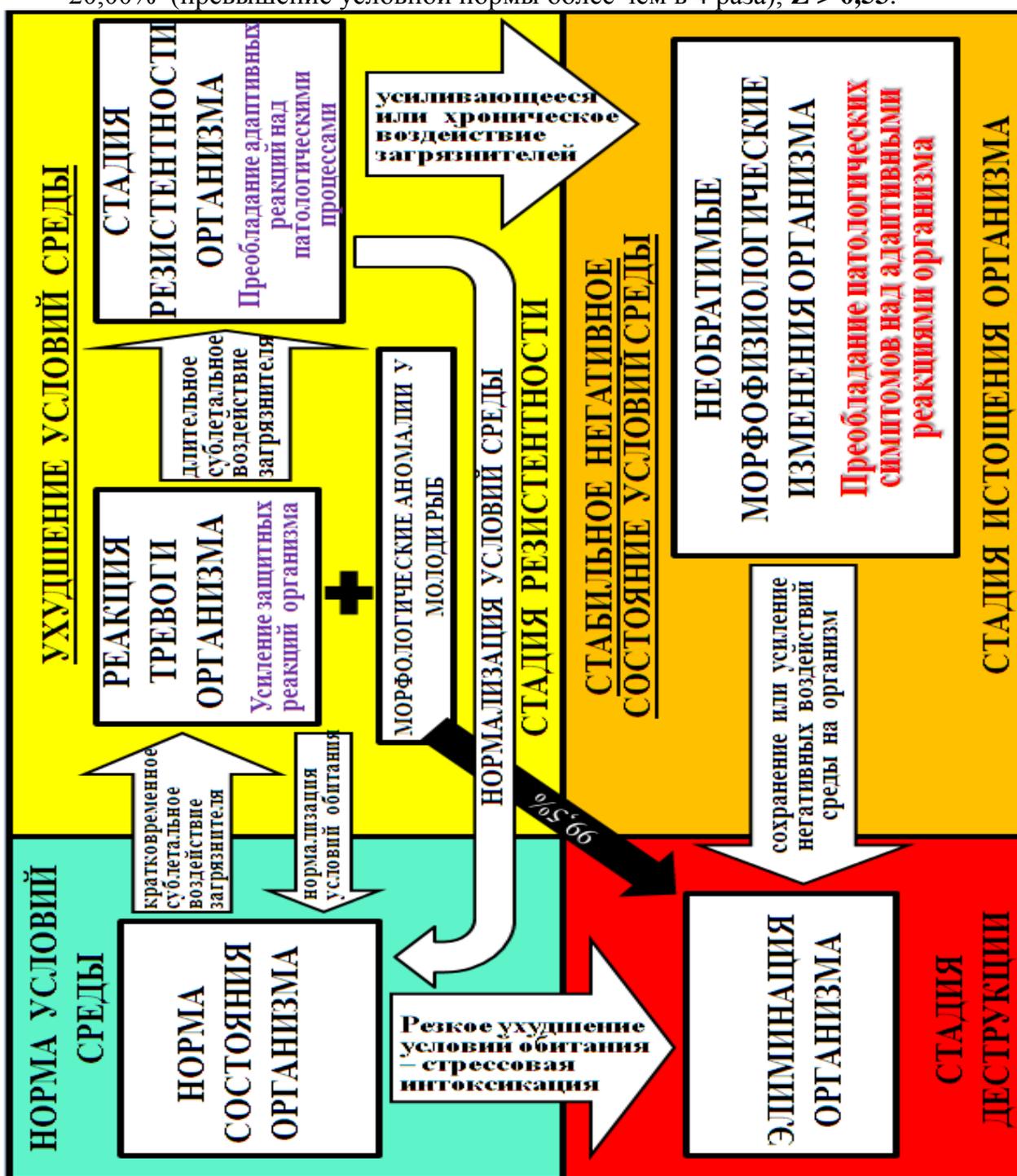


Рисунок 11. Динамика изменения морфофизиологического состояния рыб в условиях негативного воздействия присутствующих в воде загрязнений.

Реакция тревоги, вызванная началом сублетального воздействия каких-либо неблагоприятных факторов среды, характеризуется усилением защитных реакций организма и временным характером происходящих физиологических адаптаций. При этом, как правило, у взрослых рыб не происходит заметных изменений морфогистологического состояния органов и тканей, а большинство адаптационных процессов начинаются с биохимических реакций, что подтверждено исследованиями отечественных и зарубежных ученых (Баюнова и др., 2000; Горбунова и др., 2002; Rudolph et al, 2002; Wazzana et al., 2002).

Для реакции тревоги организма на фоне сублетального воздействия токсикантов также характерны аналогичные для разных видов рыб гематологические адаптивные изменения: смещение лейкоцитарной формулы в сторону увеличения гранулоцитов, что свидетельствует о воспалительных процессах, и снижение числа лимфоцитов на фоне повышения базофилов, что указывает на повышение фагоцитарной активности и включение компенсаторных механизмов (Ложичевская и др., 2002; Михайлова, 2004).

В случае сохранения и пролонгации сублетального воздействия загрязняющих веществ или других неблагоприятных факторов среды на организм рыб физиологические изменения, характерные для реакций тревоги организма, приводят уже к адапционным гистологическим преобразованиям некоторых тканей и органов, что направлено на повышение устойчивости организма. На данной стадии морфофизиологических преобразований обратимые адаптивные реакции все еще преобладают над нарушениями, способными перейти в фазу необратимых патологических процессов.

Однако, не все органы и ткани подвержены адаптивным преобразованиям в одинаковой степени. Наиболее серьезные изменения в условиях техногенного воздействия претерпевают жабры, непосредственно контактирующие с токсикантом.

На стадии истощения организма любые морфофизиологические изменения, произошедшие на стадии резистентности и имеющие адапционные признаки, усиливаются и приобретают ярко выраженную форму и необратимый характер, так как баланс между процессами регенерации и дегенерации тканей и органов сдвигается в сторону последней. При этом дегенеративные и некротические нарушения затрагивают даже самые физиологически защищенные системы организма – половую, сердечнососудистую и мышечную.

## **ВЫВОДЫ**

1. За время исследований (1995-2014 гг.) в популяциях волжских рыб разных видов обнаружены многочисленные морфофизиологические нарушения, распространенные у особей разных возрастов в водоемах с различным уровнем антропогенного загрязнения: 73 типа морфологических аномалий у молоди рыб на стадиях развития от В (предличинки) до Н (мальки-сеголетки), а также у половозрелых особей 26 типов морфологических аномалий, 23 типа патологий клеток крови и отклонения в основных гематологических параметрах, многочисленные гистопатологии внутренних органов – 21 тип патологий жабр, 11 типов патологий печени, 17 типов гонад и 7 типов патологий сердца.

2. Морфологические аномалии, обнаруженные у молоди рыб, являются следствием воздействия негативных факторов среды (в первую очередь – комплекса загрязняющих веществ, присутствующих в воде) на эмбриональное развитие особей и последующего нарушения нормального развития морфологических признаков на стадиях личиночного развития. Все обнаруженные типы морфологических аномалий являются необратимыми и летальными, о чем свидетельствует тенденция снижения доли молоди с различными типами аномалий в популяциях у всех обследованных видов рыб от ранних стадий личиночного развития к более поздним мальковым стадиям до полного отсутствия аномальных особей среди мальков-сеголеток.

3. Морфологические аномалии являются неспецифической реакцией организма на воздействие антропогенных факторов, так как аналогичные группы и типы нарушений обнаружены у изученных видов рыб в водоемах с разным уровнем

техногенного загрязнения. Загрязнение изученных водоемов и водотоков имеет очаговый характер, что подтверждается неоднородной встречаемостью аномальной молодежи рыб в разных станциях водохранилищ и их притоков.

4. У половозрелых особей неспецифические реакции организма на воздействие комплексных антропогенных загрязнений при отсутствии внешних проявлений патологического процесса проявляются на других уровнях организации – клеточном, тканевом и органном. Наиболее чувствительными к неблагоприятным внешним воздействиям, в силу своей повышенной реактивности, являются некоторые гематологические показатели – уровень гемопоза, соотношение клеток лимфоидного и эритроидного ряда, пропорция основных форм гранулоцитов и агранулоцитов, наличие патологий эритроцитов. Встречаемость рыб с отклонениями в гематологических параметрах, различной частотой отдельных типов эритроцитарных патологий, а также разнообразие патологий эритроцитов зависит от уровня загрязнения исследуемого водоема или водотока.

5. Обнаруженные гистологические патологии тканей и органов являются неспецифическими, необратимыми и неизбежно приводят к снижению жизнеспособности особи и возможной последующей элиминации. Подобные морфофизиологические нарушения происходят, как правило, вследствие хронического токсикоза, и массово наблюдаются у рыб в наиболее загрязненных водоемах. Наиболее выраженным и разнообразным патологическим изменениям подвергались жабры рыб. В загрязненных участках Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, особи с различными типами патологий жабр составляли основу популяций, в то время как в более благополучных водоемах преобладали здоровые особи. Такая же тенденция характерна и для встречаемости рыб с гистопатологиями других органов.

6. Популяции массовых видов рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ подвержены сильному хроническому воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Об этом свидетельствуют различные неспецифические морфофункциональные нарушения, имеющие, в основном, необратимый характер и обнаруживаемые у значительного количества молодежи рыб, а также у половозрелых особей из наиболее загрязненных участков этих водоемов. Популяции рыб из притоков водохранилищ находятся в более благоприятных экологических условиях.

Морфофизиологическое состояние рыб, а именно – возникновение у них под воздействием комплекса загрязняющих веществ различных неспецифических морфофизиологических нарушений делает их ценным индикатором в исследованиях экологического состояния водоемов и водотоков.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

### *Публикации в печатных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ*

1. Евланов, И. А. Ихтиологические исследования на Средней и Нижней Волге: состояние и перспективы [Текст] / И. А. Евланов, А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. Спецвыпуск. – 2005. – № 4. – С. 298-301.

2. Минеев, А. К. Индекс состояния сообществ личинок рыб (ИСС) как показатель экологического состояния водной среды [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. Спецвыпуск. – 2005. – № 4. – С. 306-313.

3. Минеев, А. К. Морфологический анализ и патологические изменения структуры клеток крови у рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вопросы ихтиологии. – 2007. – Т. 47, № 1. – С. 93-100.

4. Минеев, А. К. Некоторые гистологические нарушения гонад у головешки-ротана (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2009. – Т. 11, № 1-1. – С. 185-191.
5. Минеев, А. К. Некоторые гистологические патологии печени и сердца у головешки-ротана (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2011. – Т. 13, № 1-1. – С. 203-206.
6. Минеев, А. К. Гистологическая картина новообразований у молоди рыб Средней и Нижней Волги [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2011. – Т. 13, № 5-1. – С. 242-248.
7. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вода: химия и экология. – 2012. – № 6. – С. 54-60.
8. Минеев, А. К. Особенности лейкоцитарной формулы у плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) из водоемов разного типа (на примере Саратовского водохранилища и малых рек республики Удмуртия) [Текст] / А. К. Минеев, Е. А. Калинин // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2012. – Т. 14, № 1-1. – С. 213-217.
9. Калинин, Е. А. Особенности лейкоцитарной формулы обыкновенной уклей (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758) из водоемов разного типа (на примере Саратовского водохранилища и малых рек республики Удмуртия) [Текст] / Е. А. Калинин, А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2012. – Т. 14, № 5-1. – С. 204-208.
10. Минеев, А. К. Новообразования у молоди рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вестник ННГУ. – 2012. – № 2(3). – С. 149-155.
11. Минеев, А. К. Патологии некоторых органов у окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, вып. 3. – С. 883-886.
12. Минеев, А. К. Видовой состав и морфологические аномалии молоди рыб из двух малых рек Удмуртской республики [Текст] / А. К. Минеев, Е. А. Калинин // Вестник Удмуртского Университета. Серия Биология. Науки о земле. – 2013. – № 6-1. – С. 92-98.
13. Минеев, А. К. Патологии некоторых органов у бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вестник ННГУ. – 2013. – № 4(1). – С. 153-157.
14. Минеев, А. К. Морфологические аномалии молоди у рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вода: химия и экология. – 2013. – № 6. – С. 67-73.
15. Минеев, А. К. Некоторые гематологические параметры бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2013. – Т. 15, № 3-1. – С. 222-228.
16. Минеев, А. К. Неспецифические реакции у рыб из водоемов Средней и Нижней Волги [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2013. – Т. 15, № 3-7. – С. 2301-2318.
17. Евланов, И. А. Влияние чужеродных видов гидробионтов на структурно-функциональную организацию экосистемы Саратовского водохранилища [Текст] / И. А. Евланов, Е. В. Кириленко, А. К. Минеев, О. В. Минеева, О. В. Мухортова, А. И. Попов, М. В. Рубанова, Е. В. Шемонаев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2013. – Т. 15, № 3-7. – С. 2277-2286.
18. Минеев, А. К. Морфофункциональные изменения у плотвы *Rutilus rutilus*

Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вопросы рыболовства. – 2014. – Т. 15, № 2. – С. 282-298.

19. Евланов, И. А. Программа возрождения рыбной отрасли Самарской области [Текст] / И. А. Евланов, А. К. Минеев // Вестник СГЭУ. Спец. выпуск «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем». – 2014. – С. 79-85.

20. Минеев, А. К. Морфофункциональные изменения у леща *Abramis brama* Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вопросы рыболовства. – 2015. – Т. 16, № 3. – С. 332-350.

21. Минеев, А. К. Гистопатологии почек у рыб из загрязненного участка р. Позимь (Удмуртская республика) [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2015. – Т. 17, № 4-1. – С. 215-221.

22. Евланов, И. А. Защита водных биологических ресурсов и среды их обитания от использования тралов на промысле по опыту Саратовского водохранилища на р. Волга [Текст] / И. А. Евланов, А. К. Минеев, Г. С. Розенберг // Биосфера. – 2016. – Т. 8, № 1. – С. 47-55.

23. Минеев, А. К. Гематопатологии у рыб Куйбышевского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2016. – Т. 18, № 5-1. – С. 51-59.

24. Минеев, А. К. Аномалии глаз у молоди карповых рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 162. – С. 55-64.

25. Минеев, А. К. Аномальное появление второй пары брюшных плавников у уклей *Alburnus alburnus* (сем. Cyprinidae) среднего участка Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Вопросы ихтиологии. – 2017. – Т. 57, № 4. – С. 490-492.

26. Mineev, A. K. Some hematological parameters of *Perccottus glenii* (Dybowski, 1877) from Lake Krugloe and Lake Plyazhnoe of Samara oblast [Text] / A. K. Mineev // Russian journal of Biological Invasions. – 2012. – Vol. 3, № 2. – P. 118-128.

#### **Коллективные монографии**

27. Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна / Под ред. Г. С. Розенберга и Т. Д. Зинченко. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 322 с.

28. Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2011. – С. 5-29.

29. Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем / Под ред. Д. Б. Гелашвили и Г. В. Шургановой. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. университета, 2014. – С. 273-296.

#### **Статьи в прочих журналах и сборниках**

30. Минеев, А. К. Влияние загрязнения Саратовского водохранилища на гематологические показатели рыб [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных: материалы Междунар. науч. конф. Саранск: Мордов. гос. ун-т, 2005. – С. 161-162.

31. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у молоди карповых рыб Саратовского водохранилища как критерий качества среды обитания [Текст] / А. К. Минеев // Популяции в пространстве и времени: сб. материалов VIII Всеросс. популяционного семинара. Н. Новгород: ННГУ, 2005. – С. 237-238.

32. Минеев, А. К. Встречаемость аномальных личинок рыб среди молоди Саратовского водохранилища в различных районах водоема [Текст] / А. К. Минеев // Ихтиологические исследования на внутренних водоемах: материалы Междунар. науч. конф. Саранск: Мордов. гос. ун-т, 2007. – С. 114-116.

33. Минеев, А. К. Гистологические патологии жабр у бычка-кругляка и головешки-ротана на акватории Саратовского водохранилища в границах национального парка «Самарская лука» [Текст] / А. К. Минеев // Научные труды НИ «Смольный». Саранск: ООО Референт, 2008. – Вып. 1. – С. 96-99.

34. Минеев, А. К. Гистологическая картина морфологических аномалий глаз у молоди карповых рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия на охраняемых и иных территориях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – С. 232-235.

35. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у молоди рыб Саратовского водохранилища в районе Балакавской АЭС [Текст] / А. К. Минеев // Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского: материалы Междунар. конф. Т. 2. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2010. – С. 79-83.

36. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у рыб Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Первые международные Беккеровские чтения. Волгоград: Изд-во ТриАС, 2010. – Т. 1. – С. 453-454.

37. Минеев, А. К. Патологические изменения эритроцитов периферической крови головешки-ротана (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) и озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pallas, 1771) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев, О. В. Минеева // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Тольятти: ВУИТ, 2010. – С.118-122.

38. Минеев, А. К. Особенности гематологических параметров у бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. Часть I: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Тольятти: ВУИТ, 2011. – С. 102-110.

39. Минеев, А. К. Встречаемость особей с патологиями эритроцитов среди ротана Саратовского водохранилища в 2010 году [Текст] / А. К. Минеев // Экологические проблемы природных и антропогенных территорий: сб. статей I Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары: Новое время, 2011. – С.118-119.

40. Евланов, И. А. Современное состояние ихтиофауны реки Сок [Текст] / И. А. Евланов, А. К. Минеев // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Тольятти: Кассандра, 2011. – С. 51-52.

41. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у молоди рыб Волгоградского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Тольятти: ВУИТ, 2012. – С. 135-140.

42. Калинин, Е. А. Патологии эритроцитов и отклонения в некоторых гематологических параметрах у плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) из малых рек республики Удмуртия [Текст] / Е. А. Калинин, А. К. Минеев // Экологический сборник «Труды молодых ученых Поволжья – 4». Тольятти: Кассандра, 2013. – С. 51-56.

43. Минеев, А. К. Видовой состав и морфологические аномалии у молоди рыб р. Самара [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Тольятти: ВУиТ, 2013. – С. 112-120.

44. Минеев, А. К. Видовой состав и морфофункциональные отклонения молоди рыб р. Большой Черемшан [Текст] / А. К. Минеев // Окружающая среда: эффективное природопользование и здоровье человека: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Сибай: РБ «Сибайская городская типография», 2013. – С. 67-70.

45. Минеев, А. К. Видовой состав и морфологические аномалии у молоди рыб р. Большой Кинель [Текст] / А. К. Минеев // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы: материалы 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Самара: ПГСГА, ООО «Порто-принт», 2013. – С. 138-142.

46. Минеев, А. К. Морфологические аномалии у молоди из некоторых притоков Саратовского водохранилища [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Тольятти: ВУиТ, 2014. – С. 78-84.

47. Минеев, А. К. Гистопатологии жабр у рыб р. Позимь (Удмуртская республика) [Текст] / А. К. Минеев // Теоретические проблемы экологии и эволюции: Шестые Любищевские чтения, 11-й Всерос. популяционный семинар и Всерос. семинар «Гомеостатические механизмы биологических систем» с общей темой «Проблемы популяционной экологии». Тольятти: Кассандра, 2015. – С. 204-207.

48. Минеев, А. К. Патологии скелетной мускулатуры у рыб из загрязненного участка р. Позимь (Удмуртская республика) [Текст] / А. К. Минеев // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Т. 2. Тольятти: ВУиТ, 2016. – С. 100-103.

49. Минеев, А. К. Современное экологическое состояние массовых видов рыб Средней и Нижней Волги в условиях техногенной трансформации водоемов [Текст] / А. К. Минеев // Карельский научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 73-76.