

Федеральное агентство научных организаций  
Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки  
«Институт экологии Волжского бассейна Российской Академии Наук»

*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)**

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

**Тольятти – 2017**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
<b>Глава 1.</b> История изучения морфофизиологических нарушений у рыб (обзор литературы).....	19
1.1. Влияние основных групп токсикантов на организм рыб .....	20
1.1.1. Нефть и нефтепродукты .....	23
1.1.2. Тяжелые металлы .....	26
1.1.3. Пестициды .....	30
1.1.4. Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) .....	34
1.1.5. Простые органические вещества .....	35
1.1.6. Влияние комплексных загрязнений на рыб .....	38
1.2. Комплексное загрязнение водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги как один из определяющих факторов возникновения различных неспецифических реакций у рыб .....	48
<b>Глава 2.</b> Материалы и методика исследований .....	54
<b>Глава 3.</b> Морфофизиологическое состояние молоди массовых видов рыб в условиях загрязнения водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги .....	69
3.1. Классификация морфологических аномалий молоди рыб .....	72
3.2. Основные закономерности встречаемости аномальных особей в водоемах и водотоках Средней и Нижней Волги .....	101
3.2.1. Встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в водоемах и водотоках с различными гидрологическими характеристиками и уровнем загрязнения .....	103
3.2.2. Встречаемость аномальных особей среди массовых видов рыб .....	119
3.2.3. Встречаемость аномальных особей среди молоди массовых видов рыб на разных стадиях эмбрионально-личиночного и малькового развития .....	127
3.3. Основные закономерности встречаемости различных групп	

морфологических аномалий у молоди рыб из изученных водоемов и водотоков .....	140
3.3.1. Встречаемость основных групп морфологических аномалий у молоди шести массовых видов рыб Саратовского водохранилища ...	140
3.3.2. Встречаемость основных групп морфологических аномалий в водоемах и водотоках с различающимся гидрологическим режимом и уровнем антропогенного загрязнения .....	143
<b>Глава 4.</b> Морфологические аномалии у половозрелых рыб массовых видов Средней и Нижней Волги (на примере Саратовского водохранилища) .....	156
<b>Глава 5.</b> Нарушения физиологических показателей у массовых видов рыб из водоемов и водотоков с различающимся уровнем загрязнения .....	169
5.1. Нарушения гематологических показателей у половозрелых особей из обследованных водоемов и водотоков .....	177
5.1.1. Классификация обнаруженных патологий эритроцитов .....	177
5.1.2. Встречаемость рыб разных видов с отдельными типами патологий эритроцитов .....	194
5.1.3. Встречаемость особей с нарушениями основных гематологических параметров среди массовых видов рыб .....	211
5.2. Гистопатологии внутренних органов у половозрелых особей массовых видов рыб .....	240
5.2.1. Встречаемость особей с гистопатологиями жаберного аппарата среди рыб разных видов .....	249
5.2.2. Встречаемость особей с гистопатологиями печени .....	266
5.2.3. Встречаемость особей с гистопатологиями гонад .....	277
5.2.4. Встречаемость особей с гистопатологиями миокарда .....	294
<b>Глава 6.</b> Основные принципы и механизмы возникновения неспецифических реакций у рыб в условиях антропогенного загрязнения водоемов и водотоков .....	306
Выводы .....	328
Список литературы .....	331

## ВВЕДЕНИЕ

Рыбы – древнейшая группа позвоночных животных, неразрывно связаны с водной средой, в которой происходят все процессы их жизнедеятельности, и от качества которой напрямую зависит не только состояние морфофизиологического здоровья отдельных особей, но и экологическое благополучие популяций рыб и всей ихтиофауны. В различных водоемах различаются и определенные параметры среды, такие как соленость, освещенность, скорость течения, характеристики грунтов, кислородный режим и т.д., однако различные виды рыб, обитающие в данных водоемах, адаптированы как к сложившимся сочетаниям естественных абиотических и биотических факторов, так и к их временным колебаниям в определенных пределах. В данных естественных условиях среды морфофизиологическое состояние рыб (как отдельных особей, так и популяций) соответствует норме и является благополучным.

Однако могут существовать такие изменения факторов водной среды, связанные, прежде всего, с привнесенными извне в экосистему водоема негативными воздействиями, при которых отрицательное влияние на морфофизиологическое состояние особей выходит за пределы их адаптационных возможностей. При влиянии таких негативных факторов, напрямую связанных с хозяйственной деятельностью человека и различными видами загрязнений водоемов, у рыб разных видов и возрастов зачастую возникают различные аномалии внешнего и внутреннего строения.

Всевозможные патофизиологические и морфологические нарушения могут быть выявлены у различных видов водных организмов, однако показатели физиологического состояния рыб чаще используются в диагностике последствий токсичного загрязнения вод в силу следующих причин. Рыбы являются типичными представителями водных экосистем и



занимают верхнюю ступень в экосистеме водоемов. Они имеют длинный жизненный цикл, поэтому могут информативно отражать как последствия хронического загрязнения вод, так и стрессовые условия в периоды, предшествующие исследованиям (Попова, Решетников, Терещенко, 2007; Моисеенко, 2009; Решетников, Попова, 2012). Представляя высший уровень пресноводных сообществ, рыбы, как последнее звено в экологической цепи водоемов, накапливают значительные количества токсикантов и принимают на себя основную тяжесть техногенной нагрузки, что приводит к сокращению их численности, ухудшению качественных показателей их популяций и замене длинно-цикловых видов с продолжительным эмбриогенезом на малоценные короткоцикловые с коротким эмбриональным периодом (Решетников и др., 1982; Экология рыб ..., 2006; Селюков, 2012).

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).

Не существует такого комплексного исследования рыб волжских водоемов, а именно – морфофизиологического состояния отдельных особей и популяций массовых видов рыб, характеризующего общее экологическое состояние исследуемого водоема. В связи с этим, реализация такого научного исследования приобретает особую актуальность.

### **Актуальность исследования и степень ее разработанности**

В России преобладающая часть водоемов подвергается активному техногенному влиянию, этот процесс не обошел и р. Волгу. В настоящее время она перегорожена восемью плотинами, образовавшиеся при этом водоемы не имеют природных аналогов. Это не река и не озеро, так как по сравнению с рекой в них сильно замедлено течение, а по сравнению с озерами – периодически меняющийся уровенный режим в течение года и, соответственно, весь комплекс абиотических условий принципиально отличается от исходного водоема. В связи с сильно изменившимся гидрологическим режимом р. Волги при образовании каскада водохранилищ, произошли и заметные изменения в популяциях гидробионтов, в том числе рыб. При этом значительные трансформации популяций волжских рыб, связанные с активной антропогенной трансформацией исходного водоема, происходят на протяжении нескольких десятилетий с середины XX века и до настоящего времени. Особую роль в происходящих изменениях стали играть изменения не только изначальных абиотических и биотических факторов (гидрологический режим, особенности изменения климата, исчезновение и вселение некоторых видов гидробионтов и т.д.), но и антропогенные факторы, связанные с активным ростом промышленной, транспортной и бытовой сферы Поволжья (в первую очередь рост уровня загрязнений).

Первые упоминания о влиянии загрязнений рыбохозяйственных водоемов относятся еще к середине XIX века и присутствуют в работах К.М. Бэра (1860) и К.Ф. Кеслера (1863). Отрицательному влиянию нефти на рыб посвящены работы И.Н. Арнольда (1903). Автор указывал на негативное влияние вод, загрязненных промышленными и бытовыми стоками, на численность рыб и качество рыбного промысла.

В связи с негативным влиянием на гидробионтов развития промышленности, сельского хозяйства, водного транспорта и гидроэнергетики, изучение последствий такого воздействия приобретает особую актуальность.

Исследованиями многочисленных авторов (Поддубный, 1963; Шаронов, 1968; Цыплаков, 1972; Яковлева, 1975; Махотин, 1977; Кузнецов, 1978, 2000а; Поддубный, Козловский, 1983; Батоян, Сорокин, 1989; Евланов и др.: 1998, 2000а, 2000б; и др.) на примере водоемов Средней Волги показано, что в результате многофакторного антропогенного воздействия (гидроэнергетика, ирригация, промышленное и бытовое водопользование, химическое, тепловое и др. загрязнение) произошли серьезные качественные и количественные изменения в рыбном сообществе:

- исчезли некоторые проходные и туводные виды рыб;
- у большинства видов рыб увеличился срок икрометания;
- для многих видов рыб стало характерным расширение диапазона нерестовых температур: щука, окунь, синец стали нереститься при более высоких температурах, а чехонь – при более низких;
- у рыб наблюдаются нарушения хода гаметогенеза, повышаются резорбционные процессы в периоды прото- и трофоплазматического роста ооцитов, что уменьшает показатели индивидуальной плодовитости, выживаемости эмбрионов и личинок рыб, отмечаются пропуски очередного икрометания;
- ухудшились качественные показатели популяций отдельных видов рыб (рост, половое созревание);
- у основных промысловых рыб отмечается превышение содержания в тканях тяжелых металлов (цинк, свинец).

Начальные изменения экологического состояния ихтиофауны р. Волги, на наш взгляд, связаны с началом зарегулирования реки и образованием каскада волжских водохранилищ, что привело к существенному изменению комплекса абиотических факторов среды. Данный этап экологической трансформации водоема изучен достаточно полно (Гераскин, Лагунова, 1993; Выхристюк и др., 1996). Второй же этап экологической трансформации как всей экосистемы волжских водоемов, так и ихтиофауны в частности,

связанный, прежде всего, с антропогенным загрязнением образованных водохранилищ, изучен недостаточно.

По мнению отдельных авторов (Евланов и др., 1996, 1997) с 90-х годов XX столетия начался третий этап антропогенного воздействия на экосистемы водоемов Средней Волги. Основным фактором, оказывающим наибольшее влияние на экологическое состояние водоемов, стало воздействие различных поллютантов. По данным В.И. Лукьяненко (1996) среднегодовая токсическая нагрузка на экосистемы р. Волги и ее притоков в пять раз превосходит среднегодовую токсическую нагрузку на другие водные экосистемы России. Мутагенная активность воды Нижней Волги за период с 1979 по 1986 годы увеличилась почти в два раза (Павлов и др., 1994).

Антропогенное загрязнение водохранилищ Средней и Нижней Волги как в момент их образования, так и в настоящее время, формируется под влиянием длительного сброса бытовых и промышленных сточных вод как в сами водохранилища, так и в их притоки, диффузных стоков удобрений и ядохимикатов с сельхозугодий, попадания в воду нефтепродуктов при транспортировке и эксплуатации водного транспорта. Следствием такой нагрузки стало резкое уменьшение вылова рыбы из волжских водоемов. Так, уловы рыбы на Саратовском водохранилище с 1990 г. по 1999 г. уменьшились с 1812 т. до 613 т. при резком увеличении промысловой нагрузки на водоем (Евланов, Козловский, Розенберг, 2000), а в Куйбышевском водохранилище за этот же период – с 5440 т. до 2920 т. (Кузнецов, 2000б). Накопление загрязнителей, в том числе и тяжелых металлов, в водных экосистемах Волго-Каспийского бассейна оказало негативное влияние на физиологическое состояние рыб, прежде всего осетровых (Андреев и др., 1989).

Характерными источниками загрязнения водных ресурсов Куйбышевского водохранилища являются: строительство и эксплуатация объектов в водоохраной зоне, деятельность многочисленных предприятий топливно-энергетического комплекса, наземного транспорта, химизация

сельского хозяйства, работа очистных и канализационных сооружений. Это приводит к глобальному загрязнению, что отрицательно сказывается на санитарно-гигиенических параметрах рыбного населения (Семенов, 2011). Основная антропогенная нагрузка в Куйбышевском водохранилище отмечается в створах выпусков сточных вод больших промышленных городов (Новочебоксарск, Волжск, Зеленодольск, Казань, Ульяновск) (Петров, 2004). В нижнем Приплотинном плесе основным источником загрязнения является г. Тольятти (Степанова, 2008).

Сложившаяся экологическая ситуация является хронической, вследствие чего на популяции гидробионтов оказывается постоянный пресс негативных абиотических факторов, что не может не отразиться отрицательно на качественном и количественном состоянии этих популяций. В связи с этим возникает проблема оценки «здоровья» экосистем волжских водоемов и отдельных рыбных популяций.

Для действующего в России контроля состояния водоемов на основе предельно допустимых концентраций (ПДК) присущи определенные недостатки.

Во-первых, оценка качества воды традиционными методами через определение содержания в ней каждого конкретного загрязнителя является в наше время крайне дорогостоящим процессом. Во-вторых, в водоемы попадают самые различные вещества и, как правило, их комплекс обладает кумулятивным действием на живые организмы. В-третьих, даже зная ПДК одного или нескольких токсикантов, невозможно реально оценить их воздействие на организм рыбы и на экосистему в целом (Гераскин, Лагунова, 1993; Евланов и др., 1999). Регламентирование антропогенной нагрузки на базе общефедеральных ПДК загрязняющих веществ является экологически некорректным. При нормировании поступления в экосистему поллютантов необходимо учитывать зональные и другие особенности их токсирезистентности (Волков и др., 1996). По мнению А.С. Чихачева и др. (1996), существующие методики определения ПДК необходимо дополнять

методами тестирования интегральной биологической активности загрязняющих веществ.

Таким образом, возникает проблема установления экологических критериев качества воды, так называемых “экологических ПДК” (Клямторин, 1988). Уже давно известно (Данильченко, 1985), что на изменение содержание в воде различных поллютантов эмбрионы и предличинки рыб реагируют проявлением гетерогенности по выживаемости и изменениям темпа развития, неспецифическими морфологическими нарушениями.

Однако для более полной оценки степени негативной трансформации отдельных особей и популяций волжских рыб необходимо комплексное изучение морфофизиологического состояния отдельных экземпляров разных возрастов и видов рыб на всех уровнях организации: клеточном, тканевом, органном, организменном и популяционном. Подобные исследования в настоящее время немногочисленны, осуществляются в основном на хозяйственно ценных промысловых видах – осетровых, сиговых и лососевых (Лукьяненко, 1983, 1990; Лепилина, 1991; Моисеенко, 1994, 1999, 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).

В то же время в волжских водоемах промыслово-ценные осетровые являются малочисленными и составляют лишь незначительную часть ихтиоценоза, тогда как карповые и окуневые, а также бычковые рыбы, являются самыми массовыми и доступными для отлова. Вследствие этого наиболее массовый и разноплановый ихтиологический материал (по видовому и возрастному составу, по экологическим группам и т.д.) может быть получен именно на данных видах рыб, тем более, что в условиях антропогенных загрязнений физиологические реакции и

морфофизиологические преобразования организма не отличаются у рыб разных видов.

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

### **Цель и основные задачи исследования**

Основной целью нашего исследования являлось 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 работы**

Впервые произведено многолетнее (1995-2014 гг.) комплексное исследование морфофизиологического состояния массовых видов рыб из водохранилищ Средней и Нижней Волги (Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского), их основных притоков, а также водоемов Волго-Ахтубинской поймы. Обнаружен и исследован 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 различных морфофизиологических нарушений у исследованных видов волжских карповых (сем. Cyprinidae) и бычковых (сем. Gobiidae) рыб получены впервые. Показана 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 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.

### **Теоретическое и практическое значение работы**

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 развития теоретических основ изучения влияния техногенных факторов на гидробионтов и развития 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 различных 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.

Представленная работа связана с планом основных научно-исследовательских работ Института экологии Волжского бассейна РАН по теме «Экологическое разнообразие, устойчивость сообществ и популяций эукариот Волжского бассейна» (№ гос. регистрации 01.9.70001493).

### **Методология и методы исследования**

В основу методологии изучения морфофизиологического состояния волжских рыб были положены принципы комплексности и системности исследования различных морфофизиологических показателей и морфофункционального состояния тканей органов молоди рыб и половозрелых особей в экологических условиях водоемов Средней и Нижней Волги.

В соответствии с принятой методологической концепцией, нами изучался комплекс морфологических отклонений в личиночном и мальковом развитии молоди волжских рыб, гематологические параметры и гистологические показатели, отражающие функционирование жабр, печени, гонад и сердца у половозрелых особей массовых видов волжских рыб.

Патолого-морфологический метод, примененный нами для выявления различных типов морфологических аномалий у молоди и половозрелых особей, основан на выявлении функциональных нарушений в организме рыб, которые выражаются в нарушении экстерьерных индексов – количества позвонков и числа лучей в плавниках, формы и структуры ряда органов, нарушении цвета и местоположения полостного жира, появления различного рода новообразований в некоторых органах и т.п. (Савваитова и др., 1995а,б; Чеботарева, 1996; Аршаница, Перевозников, 1997; Ywama et al., 1995). Обнаруживаемые таким образом морфологические отклонения у рыб свидетельствуют как о нарушении гомеостаза развития, так и о наследственных отклонениях, вызванных влиянием поллютантов на генофонд популяции (Кирпичников, 1987; Лугаськов, 1990).

Данный метод широко использовался при оценке состояния взрослых рыб (Боговский, 1997; Житенева, 1993; Meier et al., 1988), и лишь в единичных случаях – эмбрионов и личинок рыб (Cameron et al., 1996). В наших исследованиях патолого-морфологический метод был основным при оценке морфологического состояния именно молоди рыб, находящейся на различных стадиях личиночного и малькового развития, тогда как гистологические методы в изучении морфофизиологического состояния молоди оказались дополнительными. Отличительной чертой использования морфологического метода для интегральной оценки экологического состояния водоемов является то, что он может эффективно использоваться в полевых условиях, так как не требует специального оборудования и позволяет быстро выделить отдельные участки водоема с различным

уровнем воздействия антропогенных факторов (в том числе и загрязнений) (Решетников, 1994).

### **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.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных данных, использованных в работе, определяется не только обширным количеством обследованных особей разных видов рыб, многолетним и систематическим характером ихтиологических исследований на протяженных акваториях Средней и Нижней Волги, но и применением стандартных и апробированных методов изучения морфологических, морфофизиологических, гемато- и гистологических показателей. Все применяемые нами методические условия сбора, фиксации, хранения и обработки ихтиологического материала строго соответствовали стандартизированным и общепринятым методикам.

Основные результаты работы прошли апробацию на различных симпозиумах, конференциях и семинарах. Результаты исследований морфофизиологического состояния волжских рыб были заслушаны и обсуждены на научно–практической конференции «Взаимодействие природы и человека на границе Европы и Азии» (Самара, 1996), Первом конгрессе ихтиологов России (Москва, 1997), использованы в Аналитическом докладе для ассоциации «Большая Волга. Экологические проблемы Среднего и Нижнего Поволжья на рубеже тысячелетий. Ситуация контроля и управления» (Тольятти, 2000), на Международной выставке и конференции «Акватерра» (С.-Петербург, 2000), 1-й научно-практической конференции «Проблемы регионального экологического мониторинга» (Нижний Новгород, 2002), 6-й Пущинская школе-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2002), 7-й Пущинская школе-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2003), Всероссийской конференции молодых ученых «Труды молодых ученых Поволжья» (Тольятти, 2004), Международной научной конференции «Актуальные проблемы экологической физиологии, биохимии и генетики животных» (Саранск, 2005), VII Всероссийском популяционном семинаре «Популяции в пространстве и времени» (Нижний Новгород, 2005), Всероссийской научной конференции «Труды молодых ученых Поволжья» (Тольятти, 2007), международной научной конференции «Ихтиологические исследования на внутренних водоемах» (Саранск, 2007), Международной конференции «Экологические проблемы крупных рек – 4» (Тольятти, 2008), Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия на охраняемых и иных территориях» (Уфа, 2010), Международной конференции «Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского» (Тамбов, 2010), Первых международных Беккеровских чтениях (Волгоград, 2010), VII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Актуальные проблемы экологии и

охраны окружающей среды» (Тольятти, 2010), VIII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды» (Тольятти, 2011), Всероссийской конференции «Труды молодых учёных Поволжья – 3» (Тольятти, 2011), I Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы природных и антропогенных территорий» (Чебоксары, 2011), Всероссийской конференции с международным участием «Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразии, глобальные изменения и восстановление экосистем» (Тольятти, 2011), Материалов Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии «Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги)» (Москва, 2011), IX Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 2012), Всероссийской молодежной конференции «Актуальные проблемы биологии и химии» (Пушино, 2012), Всероссийской молодежной конференции «Труды молодых учёных Поволжья – 4» (Тольятти, 2013), X Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 2013), Всероссийской научно-практической конференции «Окружающая среда: эффективное природопользование и здоровье человека» (Сибай, 2013), 2-й Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием «Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы» (Самара, 2013), XI Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 2014), XIII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 21016), Третьей Международной конференции «Инновационные подходы к обеспечению

устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Самара–Тольятти, 2016).

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.

**Глава 1**  
**ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ**  
**МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У РЫБ**  
**(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

Каждый живой организм, в том числе и рыбы, обладает в отношении любого действующего на него фактора генетически детерминированным, филогенетически приобретенным, уникальным диапазоном толерантности, в пределах которого этот фактор является для него переносимым (Schubert, 1984). Антропогенные воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой – обуславливают антропогенную модификацию уже имевшихся природных факторов и тем самым оказывают значительное влияние на устойчивость организмов к этим факторам (Stöcker, 1980). Рыбы, как одна из древнейших групп позвоночных, обитают исключительно в водной среде, и у них существует строгая система приспособительных взаимодействий к абиотическим факторам (Никольский, 1974).

В ихтиологической литературе (Моисеенко, 1986, 1988, 1994, 2009; Моисеенко и др., 1991; Решетников, 1988, 1994, 1995; Чеботарева, 1996; Чеботарева и др., 1996, 1997; Павлов и др., 1999) для обозначения тех или иных нарушений в морфологии и строении внутренних органов широко используется понятие “морфологическая аномалия” (от греч. *anomalía* – неровность), которое обозначает отклонение от нормы, от общей закономерности, неправильность (Уткин, 2000). Однако, при влиянии загрязняющих веществ в зависимости от степени их воздействия на организм рыб допустимо использовать следующую терминологию:

Аберрации: (от лат. *aberratio* – отклонение, уклонение) индивидуальные отклонения от нормы в строении организма, функциональные нарушения,

которые представляют собой ненаследственные модификации и выражаются в изменениях окраски, формы, структуры или развития ряда органов – печени, сердца, почек, гонад, мышц, нарушениях цвета и расположения полостного жира.

Фенодевианты: - наследственные морфологические нарушения в строении рыб (Lerner, 1954; Кирпичников, 1987). Их обнаружение следует рассматривать как показатель нарушения гомеостаза развития (Захаров, Кларк, 1993).

Патологии: - дисфункции в системах организма, во внешней морфологии и анатомии, которые развиваются у рыб за пределами адаптационных возможностей (Алтуфьев, 1990; Романов, 1990; и др.).

### **1.1. Влияние основных групп токсикантов на организм рыб.**

В разные годы в различных водоемах нашей страны у рыб обнаруживались различные отклонения в строении, как молодых, так и взрослых особей разных видов. В 1937 году в дельте р. Волги и Волго-Ахтубинской пойме у молодых рыб В.С. Кирпичниковым (1987) отмечались многочисленные фенодевианты, встречаемость которых достигала 5%. Усиливающееся загрязнение р. Волги, особенно в период 1976 – 1991 гг., обусловило увеличение мутагенной активности воды на 42% (Андреев, 1991), что явилось причиной многочисленных патологических отклонений у осетровых рыб Волго-Каспийского бассейна:

- патологии гонадо- и гаметогенеза (Романов и др., 1990; Журавлева и др., 1991; Земков, Журавлева, 1997);
- расслоение мышечной ткани (Лукьяненко, 1989, 1990);
- очаговая деструкция мышечных волокон на уровне мио- и протофибрилл (Евгеньева и др., 1989; Гераскин, 1990; Журавлева и др., 1990);
- дистрофия скелетной мускулатуры (Земков, Журавлева, 1997);
- вакуолизация мышечных волокон (Алтуфьев и др., 1992);



- патологии в развитии эпителиальной ткани жаберных лепестков (Журавлева и др., 1990; Андреев, 1991);
- замещение ткани печени элементами поперечнополосатой мускулатуры (Романов и др., 1989);
- жировая и белковая дистрофия (Алтуфьев, 1990; Земков, Журавлева, 1997);
- вакуольная дистрофия гепатоцитов (Журавлева и др., 1990);
- очаги некроза и разрушения структур печени (Алтуфьев, 1990; Андреев, 1991; Журавлева и др., 1991);
- нарушения пигментного обмена (Журавлева и др., 1991).

В 1988 г., по сравнению с 1982 г., частота возникновения патологий у осетровых возросла на 74% в связи с повышением концентрации Sr в их тканях на 92% (Якубов и др., 1991).

В 1989 г. у ранневозрастных групп осетровых рыб на Нижней Волге наиболее часто отмечались следующие патологии: различного рода искривления туловищного и хвостового отделов (36,1%), деформации желточного мешка (30,7%), водянка желточного мешка (0,5%), дефект плавниковой каймы (0,5%), а так же опухоли в области головы (Лепилина, 1991). К настоящему времени также описаны многочисленные аномалии в развитии личинок и мальков осетровых, получаемых на ОРЗ (Игумнова и др., 1990; Шагаева и др., 2000; Горюнова и др., 2000; Горюнова, Соколова, 2000 и др.). Отмечено, что многие из этих аномалий существенно снижают жизнеспособность молоди, а некоторые являются летальными (Акимова и др., 2004). Ряд аномалий, обнаруженных у личинок на стадии вылупления, сохранялся и на стадии перехода на активное питание, а впоследствии мог выявляться и у мальков осетровых (Горюнова и др., 2000). Все выявленные нарушения условно были разделены на 6 групп: аномалии формы тела, аномалии в строении наружных органов, аномалии в строении внутренних органов, аномалии строения тканей, функциональные аномалии и механические повреждения (Горюнова и др., 2004).

У молоди рыб разных видов из водохранилищ Средней Волги были обнаружены многочисленные аномалии, фенодевианты и патологии (Евланов и др., 1996, 1997; Минеев и др., 1997, 1998; Евланов и др., 1999, 2000а; Минеев, Евланов, 2000, Минеев, 2001, 2013г) встречаемость которых в отдельных районах Саратовского водохранилища достигала 92,5%.

У рыб из других водоемов России также обнаруживали многочисленные отклонения в строении. В реке Москва у большинства видов “городских” рыб отмечены многочисленные аберрации, фенодевианты и патологические изменения в строении внутренних органов, частота встречаемости которых возрастала в местах с наибольшим уровнем загрязнения (Соколова и др., 1997). У рыб бассейна Ладожского озера (р. Волхов, район Волховской губы, Питкяранты, Петрокрепости, Свирского бора и Невской губы) отмечены патологические изменения в гистологическом строении внутренних органов: нарушения гемодинамики, колбообразные вздутия лепестков жабр, белковое перерождение почек у лещей (Чинарева, 1988).

Наиболее исчерпывающие результаты по влиянию загрязняющих веществ на возникновение аномалий получены на примере сиговых рыб из водоемов Кольского Севера и Таймыра (Моисеенко, 1986, 1988; Моисеенко и др., 1991; Моисеенко, 1994; Решетников, 1988, 1994, 1995; Семаков и др., 1994; Чеботарева и др., 1997; Павлов и др., 1999; Моисеенко, 2000, 2009). Этими исследователями у обследованных особей обнаружено около 70 видов различных морфологических аномалий.

Следует отметить, что по данным Я.А. Кижеватова и А.Н. Копорикова (1995) в реках со средним уровнем загрязнения у рыб замедляется темп роста, позднее наступает половое созревание, часть половозрелых рыб пропускают нерест (до 10 %), обнаруживаются морфологические аберрации, встречаемость которых у хищных рыб достигает 50-70%, у бентофагов – 10%, у планктофагов – 5%. В сильно загрязненных реках морфологические аномалии встречаются у 100% рыб. Отмечаются изменения в структуре

внутренних органов, очень часто характерно патологическое ожирение и пропуск нереста.

Известны многочисленные случаи обнаружения зарубежными исследователями различных аномалий, патологий и фенотипических отклонений у морских видов рыб в условиях загрязнения водоемов различными группами загрязняющих веществ:

- укорачивание и искривление тела (Urho, Hudd, 1989);
- расслоение покровного эпителия жаберных лепестков (Fay Laura et al., 1985; Jagoe et al., 1987);
- патологии почек (Fay Laura et al., 1985);
- деформации скелета (Sindermann, 1988; Van Den Avyle et al., 1989; Pohl, 1990);
- укорочение и частичная утрата плавников (Urho, 1989);
- деформация и эрозия плавников (Bengtsson et al., 1988);
- отверстие в нижней челюсти (Ywama et al., 1995);
- опухоли различных систем и органов (Harshbarger, Closs, 1990; Dethlefsen, Zand, 1994);
- помутнение глаз (Barker et al., 1994);
- некрозы тканей (Там же).

В настоящее время накоплен достаточно обширный экспериментальный материал по влиянию отдельных поллютантов на возникновение у рыб патологий, аберраций и фенотипических отклонений на различных уровнях организации. Подобные же типы как морфологических, так и физиологических нарушений, приводящих к дисфункциям систем организма и отдельных органов, в массе обнаружены у рыб в природных условиях при загрязнении водоемов обитания различными загрязнителями. Ниже кратко рассмотрим некоторые из них.

**1.1.1. Нефть и нефтепродукты.** Токсиканты данной группы считаются наиболее опасными с точки зрения влияния на экоихтиологическое состояние водоемов, так как они обладают химической и биологической

устойчивостью в водной среде и способностью накапливаться в пищевых цепях (Перевозников, Светашова, 2002). Выяснено, что при аварийных разливах нефти отмечается повышенное содержание углеводов в органах рыб, прежде всего в жабрах и печени (до 70,0 г/кг сырой биомассы), такой внешне скрытый экологонатологический процесс вызывает хронический кумулятивный токсикоз и может отрицательно сказаться на рыбохозяйственном потенциале водоемов, подвергшихся даже эпизодическому нефтяному загрязнению (Там же).

Нефть и нефтепродукты (в том числе составляющие компоненты буровых растворов) оказывают ярко выраженное отрицательное влияние как на молодь рыб (Обухов, Крючков, 2004), так и на общее состояние различных физиологических (прежде всего иммунологических и гематологических) функций организма (Горбунова, Горбунова, 2004; Каниева, 2004а,в), на качество гистологического состояния отдельных органов и их систем у взрослых особей (Феклов, Полина, 2002).

Согласно исследованиям, нефтяное загрязнение негативно влияет на процессы эмбриогенеза и последующего развития молоди рыб как в природных водоемах (Исуев и др., 2002), так и в условиях эксперимента (Middaugh et al., 2002). При подобных воздействиях у эмбрионов и личинок рыб описаны сходные краниофациальные, кардиоваскулярные и скелетные нарушения: ускорение и задержка выклева, отставание в развитии, уродства эмбрионов (водянка перикардия, полости в желточном мешке, искривления хорды) и гибель особей (Исуев и др., 2002; Middaugh et al., 2002), недоразвитие или отсутствие переднего отдела тела и укорочение хвостового отдела тела (Михайлова, 1991). Даже низкие концентрации нефти и нефтепродуктов в водоёмах вызывают у молоди ценных видов промысловых рыб (осетровых) значительные изменения в макроанатомических, нейрологических, биохимических и функциональных параметрах развития, что в конечном итоге существенно снижает адаптационные потенциалы мальков и может привести к массовой гибели особей в популяции (Обухов,

Крючков, 2000). Многочисленные нарушения опорно-двигательной системы у предличинок севрюги отмечены при концентрации нефтепродуктов 3-4 ПДК в волжской воде (Лепилина, Федорова, 2002).

Нарушения гематологических показателей у разных видов и возрастных групп рыб при воздействии нефти и ее компонентов, главным образом, одинаковы и выражаются в наличии патоморфологических изменений эритроцитов, количественных сдвигах в лейкоцитарной формуле, снижении количества эритроцитов и уровня гемоглобина в крови (Феклов, Полина, 2002), а также изменение белкового спектра крови (Мячина, 1986; Шлейфер и др., 1989).

Зафиксировано также достоверное увеличение количества микроядер в эритроцитах отдельных представителей карповых, бычковых и осетровых рыб на местах добычи нефти, причем, обнаружено увеличение частоты встречаемости микроядер и “хвостатых” ядер эритроцитов с возрастом рыб (Есауленко, 2004), что свидетельствует о хроническом характере негативного воздействия нефтяного загрязнения. Микроядерный тест отражает частоту кариотипических нарушений и используется для определения степени дестабилизации генома живых объектов. В данном случае доказано, что токсикологическая ситуация определялась именно накоплением нефтепродуктов в грунтах, и водоем может быть опасно загрязненным при минимальном их содержании в воде (Есауленко и др., 2003).

Проведенные исследования свидетельствуют о выраженном токсическом воздействии нефти на рыб. В результате происходит изменение гематологических показателей и клеточного метаболизма особей, последствиями которого являются нарушения структуры клеточных мембран в связи с участием липидного компонента в процессах перекисного окисления липидов (Горбунова и др., 2002). Показана прямая зависимость уровня количественных и качественных показателей крови от степени токсичности и времени воздействия нефти и нефтепродуктов (Каниева, 2002).

Нарушения гемодинамики организма и осмотического баланса в тканях, вызванные даже незначительными концентрациями нефти, затем вызывают более серьезные отклонения, связанные с дегенерацией и последующим отмиранием тканей (Исаков, 2002), что приводит к патологиям внутренних органов различной степени летальности.

Неоднократно отмечалось, что после аварийных разливов нефти в течение нескольких недель у рыб отмечаются гистопатологические изменения в тканях печени, жабр и почек (Caldwell, 1997).

Установлено, что под влиянием сырой каспийской нефти (в концентрации 50 мг/л) у двухлеток карпа на фоне существенного увеличения перикисного окисления липидов возникают патоморфологические изменения в печени, в частности, деструкция гепатоцитов (Каниева, 2004б). При воздействии на рыб тяжелых фракций нефти зафиксирована активация мультифункциональных оксидазных систем печени у молоди рыб (Rudolph et al., 2002) и увеличение количества микроядер в гепатоцитах у взрослых особей (Pietrapiana et al., 2002). Нефть и нефтепродукты способствуют нарушению гистологических структур практически всех внутренних органов и их систем. Так у каспийских сельдей зафиксированы анатомические отклонения в строении гонад: наличие соединительнотканых образований и новообразований в семенниках III и IV стадий зрелости в связи с расширением добычи нефти в местах их обитания (Микозина и др., 2002).

Гистологические исследования позволяют утверждать, что под воздействием нефтяного загрязнения у рыб наблюдаются расслоения мышечной ткани (Семенов и др., 1991; Алтуфьев и др., 1992), патологии нервной системы – сдвиги в структуре нейронов промежуточного мозга (Касимов, Рустамов, 1989) и функциональные нарушения выделительной способности почек (Фомин, 2002).

**1.1.2. Тяжелые металлы (ТМ) и их соединения (Hg, Pb, Co, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, Zn, Sr, Sn).** В настоящее время различные соединения тяжелых металлов являются основными источниками загрязнения водоемов в районах

расположения предприятий цветной металлургии (Кашулин, 1999), активной сельскохозяйственной деятельности, так как Cu и Zn входят в состав многих удобрений, в районах крупных населенных пунктов (Савицкая, 1999). В результате хронического воздействия загрязнений подобного рода у рыб наблюдается сокращение средней продолжительности жизни, замедление темпов роста и уменьшение средних размеров тела, а также различные патологии жизненно важных органов. По данным Кашулина Н.А. (1999) загрязнение озер Кольского полуострова тяжелыми металлами (Cu, Ni, и Zn) вызывает у сиговых рыб изменения окраски и структуры печени, почек, жабр и других органов, при этом наибольшие концентрации поллютантов фиксировались в печени, а наименьшие – в мышцах рыб. Установлено, что с увеличением дистанции от источника загрязнения, уменьшается количество и степень выраженности обнаруживаемых нарушений.

На примере обыкновенного окуня из водоемов Кольского полуострова показано, что содержание ТМ (Hg, Co, Cu, Ni, Mn) в тканях и органах рыб выше, чем в воде, что подтверждает их способность накапливать данные поллютанты (Савицкая, 1999). Особенности аккумуляции в общем виде можно представить следующим образом: в печени концентрируются все определяемые ТМ, так как у рыб, также как у теплокровных животных и человека, печень является функциональным депо ряда микроэлементов и прежде всего – меди (Cu). Таким же образом в жабрах концентрируется Co, в костях – Ni, в мышцах – Mn (Там же).

Наиболее чувствительны к воздействиям ТМ особи на ранних стадиях жизненного цикла. Так в ходе эксперимента при ртутной интоксикации молоди окуня и карпа параллельно протекающие мутагенные и тератогенные процессы могут стать причиной серьезных онтогенетических нарушений: патологические изменения в периферической крови, подавление раннего гаметогенеза у самцов, патологии соматических клеток и угнетение линейного весового роста (Таликина, Комов, 2003). Установлено, что при интоксикации Hg у молоди рыб наблюдается некроз тканей головного мозга,

почечной и печеночной паренхимы. Отравление Cu обусловило расслоение сетчатки, дегенерацию почечных канальцев, массивный некроз жаберных лепестков, а при интоксикации особей Mn наблюдается гипертрофия клеток головного мозга, некротические изменения желудочков сердца, дегенерация мышечных волокон и пикноз гепатоцитов (Krishnani et al., 2003). При содержании оплодотворенной икры белого амура в воде содержащей Cu или Pb у вылупившихся личинок наблюдались деформации позвонков, краниальные и вертебральные деформации, аномалии желточного мешка, кардиальный отек и укорочение тела (Łudowski et al., 2002). Как правило, перечисленные выше патологические нарушения вызывают гибель большинства особей еще на ранних стадиях личиночного и малькового развития.

В экспериментальных условиях выявлено, что у мальков карпа (*Cyprinus carpio* L.) при воздействии ионов Cd нарушается не только баланс ферментов и микроэлементов (глюкозы, аспаратаминотрансферазы, креатинкиназы, лактатдегидрогеназы, фосфора) в сыворотке крови, но и происходит возрастание числа эритроцитов и снижение количества лейкоцитов (за счет лимфоцитов) (Drastichová et al, 2003). Установлено, что по степени накопления Cd органы располагались в следующем порядке: почки>печень>мышцы. При экспериментальной интоксикации молоди плотвы ртутью (Hg), содержащейся в корме, у всех особей зафиксировано негативное изменение морфобиологических и цитоморфологических характеристик: замедление роста, блокирование раннего гаметогенеза у рыб обоего пола, изменение лейкоцитарной формулы, гистопатогенез эритроцитов периферической крови, нарушение гистофизиологического состояния клеток паренхимы печени (Таликина и др., 2003).

При воздействии таких элементов как Al, Cu, Cd, Mn, Fe, в эмбриогенезе рыб наблюдались следующие нарушения: изменение объема перивителлинового пространства в икринках (Лебедева и др., 1990), появление гемодинамических нарушений (Мохно, Котова, 1990).



У взрослых особей при отравлении ТМ зачастую не фиксируется внешних морфологических нарушений, однако обычны функциональные нарушения внутренних органов и тканей: различные гематологические нарушения и гистологические патологии. Отмечается, что содержание рыб в воде с сублетальными концентрациями ТМ (сульфатов Cu и Zn) в первую очередь вызывает характерные патологические изменения морфологии форменных элементов (анизопойкилоцитоз и гипохромазию эритроцитов, атипичную структуру и формы ядра, вакуолизацию цитоплазмы, увеличение размеров ранних миелоидных клеток и нейтрофилов), позже происходят сдвиги количественных показателей, которые не всегда могут быть ярко выраженными (Калинина, 2002). Выраженный генотоксический эффект, заключающийся в повреждении ДНК эритроцитов, оказывают оловоорганические соединения на особей радужной форели (Tiano et al., 2001).

При загрязнении водоемов различными соединениями ТМ нередки случаи обнаружения у взрослых особей мышечных патологий (Клювач, 2002), морфофункциональных изменений почечных структур (Фомин, 2002; Заботкина, Лапирова, 2004; Михайлова, 2004.), гипертрофии жабр (Матей, Комов, 1992), гиперплазии клеток жаберных лепестков (Матей, 1993; Parashar, Banerjee, 2002), некроза жаберных тканей (Popescu-Marinescu et al., 2000) и общей редукция жабр (Bolotova, Konovalov, 2003), нарушения репродуктивных характеристик (асимметрия гонад, снижение качества половых продуктов) (Reshetnikov et al., 2002), скелетных аномалий (Терентьев и др., 2002), дегенеративных изменений селезенки (Заботкина, Лапирова, 2004; Ложниченко и др., 2002) и печени (Pedlar et al., 2002)

Гематологические и гистологические показатели рыб предлагается использовать при оценке загрязнения водоемов ТМ. На примере сигов из оз. Имандра установлено, что нефрокальцитоз почек, анизо- и пойкилоцитоз эритроцитов, кариорексис и нарушения эритроцитарной оболочки у особей

встречаются тем чаще, чем ближе место обитания рыб к источнику загрязнения ТМ (Королева, 1999).

Многочисленными исследованиями доказано, что большинство ТМ (в частности Cu и Cd) оказывают политропное действие, дестабилизируя нормальное функционирование организма рыб, снижая уровень иммунных реакций (Федорова и др., 2004), вызывая нарушение репродуктивных и других физиологических функций (Kruse, Scarnecchia, 2002). Известны также проявления суммарного (синергического) воздействия ТМ на состояние органов и тканей, когда совместное воздействие нескольких загрязнителей значительно сильнее, чем воздействие каждого по отдельности. Так обнаруженные у волжской стерляди морфофункциональные изменения в нефронах почек связаны с проявлением синергического эффекта при воздействии Cu и Ni (Лепилина, Романов, 2005).

**1.1.3. Пестициды.** Пестициды – вещества органической природы, широко применяемые в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями растений, разнообразие данной группы веществ велико и постоянно пополняется вновь создающимися соединениями (Лукьяненко, 1983).

Как правило, как и в случае с другими токсикантами, организм рыб реагирует на острую интоксикацию пестицидами трехфазной реакцией: вначале происходит повышение двигательной активности, затем потеря равновесия и ориентации, а затем расстройство дыхания и смерть (Гераскин, 2013).

При отравлении рыб хлорорганическими (ХОС) и фосфорорганическими (ФОС) пестицидами ведущее место занимает нервнопаралитический синдром, гемодинамические, дистрофические и некротические изменения в разных органах, а местно-раздражающее действие пестицидов и воспалительные процессы практически не выражены (Грищенко, 2004). ХОС соединения вызывают более тяжелые и разнообразные морфофункциональные нарушения в жабрах, печени, почках и нейронах головного мозга, что подтверждает данные об их высокой

токсичности для рыб (Там же). При интоксикации рыб ФОС тех же концентрациях, нервнопаралитический синдром обусловлен морфофункциональными нарушениями в центральной и периферической нервной системе, которые сопровождаются деструктивными изменениями синапсов и нейронов головного мозга (Там же).

Как в природных водоемах так и в экспериментальных условиях наиболее чувствительными к действию различных ксенобиотиков оказываются особи на стадиях эмбрионального и последующего личиночного развития. Воздействие девяти пестицидных препаратов различных химических классов на состояние икры и личинок осетровых рыб приводило к тому, что у выклюнувшихся из такой икры личинок наблюдались уродства головы, водянку желточного мешка, искривление осевых структур, причем, в постэмбриональном периоде уродства отдельных частей тела и органов встречались чаще (Зинчук, 2001). В концентрациях  $LK_{81}$  таких гербицидов как лонтрим, парднер, метасулам наблюдались уродства позвоночника – его укорочение, изгибы в стороны (сколиоз), волнообразные изгибы (плекоспондилия) (Там же). Такие уродства как раздвоение головы и пучеглазие наблюдались в концентрации парднера 219 мг/л. Выявлено, что сроки появления признаков отравления зависят от химической структуры гербицидов, величины их концентрации и времени воздействия (Там же). Разнообразные нарушения процессов эмбриогенеза зафиксированы у молоди щуки при воздействии 2,4-дитретамильфенола и 2,4,6-трихлорфенилгидрозина солянокислого (Щурова, 1990);

Даже при содержании в воде низких концентраций пестицидов различных химических классов (в пределах ПДК) у личинок осетра, молоди тарани и красноперки установлены изменения содержания белка, уровня аминного азота, активности аспаратаминотрансферазы, кислой фосфатазы и ацетилхолинэстеразы (Виноградов и др., 2001). Наибольшее влияние на совокупность исследованных биохимических показателей оказали триазолы при отдельном внесении и при комбинировании с пестицидами других

классов: в несколько меньшей степени повлияли пиретроид и фосфорорганические соединения (Там же).

Как правило, максимальные концентрации ксенобиотиков (пестицидов и гербицидов) вызывают у эмбрионов нарушения процессов дробления и гастрюляции, которые приводят к их массовой гибели на стадии ранней нейрулы, а сублетальные концентрации этих веществ приводят к нарушениям желточного обмена, укорочению и искривлениям хвостового отдела тела, водянке перикардальной полости (Смыр, Щербакова, 2000). Подобные нарушения и патологии зафиксированы в аналогичных условиях как у ценных видов осетровых и карповых (Там же), так и у короткоцикловых видов рыб (бычок-кругляк) (Щербакова и др., 2004). Содержание карпов массой в среднем 70 г в воде с присутствием циперметрина, дельтаметрина, фанвалерата или переметрина на протяжении 2 недель сопровождалось дезинтеграцией внутренней митохондриальной мембраны лейкоцитов и гепатоцитов. Показано, что пиретроиды подавляли фагоцитарную активность нейтрофилов и снижали в крови концентрацию лизоцима, а также вызывали лейкопению (Lutnicka, 2002). У взрослых особей *Channa punctatus* циперметрин вызывал на 5 день эксперимента существенное дозозависимое увеличение общего содержания лейкоцитов до 29,37%, а на 30 день количество лимфоцитов, нейтрофилов, эозинофилов и моноцитов возрастало, соответственно, на 47,64%, 72,81%, 177,78% и 145,45% (Saxena, Seth, 2002). В данном случае увеличение общего содержания лейкоцитов является следствием обусловленного токсическим стрессом усиления иммунных реакций.

Вызываемые ксенобиотиками нарушения иммунных реакций, баланса ферментов, гормонов и других биохимических факторов неизбежно приводят к разнообразным гистопатологическим изменениям в различных органах и тканях рыб даже после прекращения прямого воздействия загрязнителей. При хроническом воздействии пестицидов данные нарушения у особей наиболее выражены. Проведено гистопатологическое изучение жабр

гамбузий, находившихся в воде с малатионом в концентрации 0,01-0,02 мг/л в течение 10, 20 и 30 дней. В жабрах выявлен широкий спектр гистологических изменений: очаги некроза, отделение от смежных тканей и слущивание эпителия вторичных жаберных лепестков, внутриэпителиальная эдема, слияние, деформации и разрывы ламелл, гипертрофия и гиперплазия эпителия (Cengiz, Ünü, 2003). Подобные патологические изменения в жабрах рыб: гиперплазия и отслоение эпителия филламентов и ламелл, их укорочение, слияние и некроз, увеличение числа хлоридных клеток наблюдались у карпа (*C. carpio*) и усача (*Barbus sp.*) после внезапного выброса в водоём пестицида линдана (Ortiz Juan et al., 2003), а также у *Rasbora daniconius* при недельной экспозиции рыб к сублетальным дозам (1350 мг/л) препарата нимакса (Lazaras Acha et al., 2004). Линдан вызывал также характерные признаки острой интоксикации печени – вакуолизацию и некроз гепатоцитов, расширение синусоидов, очаги геморрагии, и поражения почек – вакуолизацию и гипертрофию эпителия извитых канальцев, их деструкцию, сморщивание клубочков (Ortiz Juan et al., 2003). Различные нарушения гистологического состояния печени зафиксированы при экспозиции *Labeo rohita* в сублетальных концентрациях карбофурана (0,06 и 0,15 мг/л) и циперметрина (0,16 и 0,40 мг/л): диффузный некроз, дезинтеграция гепатоцитов, гиперплазия печеночной ткани и коагулятивный некроз (Sarkar et al., 2005).

Ярко выраженные гистопатологические изменения почек у *Prochilodus lineatus* уже в течение первых суток воздействия вызывает трихлорфон (Leita de Veiga Marcerlo et al, 2002). При воздействии трихлорфона в концентрации 0,2 мг/л были отмечены атрофия клубочков и увеличение внутрикапсулярной полости, гипертрофия выстилающих канальцы клеток и появление в их цитоплазме гранулярных включений, пикноз ядер и вакуолизация цитоплазмы эндотелиальных клеток капилляров, геморрагические очаги вокруг капилляров (Там же). В течение вторых суток воздействия трихлорфона в той же концентрации в почках рыб наблюдались

увеличение объема клубочков, слушивание париентального капсулярного эпителия, набухание стенок канальцев, пикноз ядер эпителия почечной паренхимы с признаками кариолизиса (Там же). Некроз гемопоэтической ткани почек, а также гиперплазию интерламinalного жаберного эпителия, появление очагов некроза в печени и поджелудочной железе вызывает у карпов (*C. carpio*) гербицид симазин в течение 90 дней при концентрации 45 мкг/л (Roncero et al., 2002).

Известны случаи обнаружения нарушения баланса различных жирных кислот в сыворотке крови при воздействии на рыб полихлорированных бифенилов (Борисова и др., 1993), расслоения мышечных тканей у осетров под влиянием хлорорганических пестицидов (Давлетьярова и др., 1989), нарушений функций кишечника и желудка и парализации мышц (Сабуров, Пушкова, 1989).

Таким образом, пестициды, воздействуя на организм рыб разных видов, возрастных групп и экологических предпочтений, вызывают у особей одинаковые по своим механизмам возникновения и морфологическим особенностям нарушения биохимических и физиологических процессов, патологии внутренних органов и тканей, а, иногда, и гибель.

#### **1.1.4. Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ).**

Это обширная группа соединений, различающихся по своему происхождению и структуре, которые при попадании в водоемы способны вызывать отравления и гибель животных даже при незначительных концентрациях (Гераскин, 2013). Их делят на анионактивные, катионактивные, амфолитные, неионогенные и совсем не ионизирующиеся, однако общей их особенностью является способность адсорбироваться на поверхности раздела фаз и понижать поверхностное натяжение жидкости (Провда, 1998).

Наиболее распространенным и изученным с точки зрения воздействия на водные организмы является диэтаноламин (ДЭА). Являясь простым органическим соединением, он способен к адсорбции на поверхности воды,

образуя поверхностную пленку. ДЭА вызывает у рыб на ранних этапах развития следующие патологии (Каниева и др., 1989; Каниева, 1993; Кириллов, 1993): изменения гематологических параметров, диспропорция отдельных частей туловища, аномальная форма желточного мешка, искривления туловищного и хвостового отделов тела, депигментация покровных тканей, нарушения структуры печени, патологии почек и поперечнополосатой мускулатуры.

В хронических (30-40 суток) опытах с использованием детергента неонола в концентрации 0,1 мг/л у воблы и бычка-кругляка обнаружено снижение уровня глюкозы в крови и содержание гликогена в печени (Ахмедова, 1990). Отмечаются также существенные изменения в гематологических параметрах (Шлейфер, 1990): снижение содержания гемоглобина при снижении числа эритроцитов, развивающаяся лейкопения.

Различные детергенты, даже в низких концентрациях, нарушают проницаемость биомембран за счет образования комплексов с фосфолипидами, белками и липопротеидами мембран, а при более высоких концентрациях приводят к разрушению мембран клеток (Kreibich et al., 1973; Helenius, Simons, 1975).

**1.1.5. Простые органические вещества.** Различными исследованиями ранее неоднократно подтверждалось негативное влияние простых химических соединений антропогенной природы на водные организмы, а именно повреждающие воздействия и генезис патологических состояний, реализующиеся по механизму окислительного стресса. По данному принципу к числу поллютантов отнесены полихлорированные бифенилы, нитросоединения, ароматические углеводороды и т.д. (Livingstone, 2002).

Основными источниками поступления в водоемы различных простых органических веществ являются бытовые стоки крупных населенных пунктов, диффузные стоки с водосборной территории (Моисеенко, 2009), а также сточные воды целлюлозно-бумажного производства, так как в них зачастую содержатся хлорированные органические вещества (в частности –

диоксид хлора) (Sandström et al., 1997). Ранее показано, что в местах сброса сточных вод целлюлозно-бумажного комбината в Ботнический залив (Швеция) обнаруживается наибольшая смертность эмбрионов и личинок окуня (*Perca Fluviatilis* L.) и других видов рыб, а также патологии репродуктивного аппарата, задержку созревания и угнетение воспроизводства у взрослых особей (Karas et al., 1991). Другими исследованиями у рыб из того же района выявлены частые случаи эрозии плавников и деформации скелета: деформации челюстных костей и костей жаберной крышки (Lindesjö et al., 1994). Подобные патофизиологические нарушения у рыб зафиксированы в районах сброса сточных вод североамериканских целлюлозных комбинатов (Hodson et al., 1992). Полученные результаты доказывают, что диоксид хлора, содержащийся в стоках бумажного производства, стал причиной ряда нарушений, отрицательно влияющих на состояние здоровья обследованных рыб (Моисеенко, 2009). Более поздние исследования воздействия диоксида хлора из стоков целлюлозного производства показали его влияние на эндокринную систему рыб, задержку полового созревания, снижение уровня стероидных гормонов, сокращение роста и угнетение воспроизводства (Sandström et al., 1997).

Неоднократно описано отрицательное действие на рыб других простых органических ксенобиотиков разной химической природы. Хлорофос и фенол, являющиеся нервно-токсическими и энзиматическими ядами, при действии на зрелые мужские половые клетки плотвы (*R. rutilus* L.) оказывают ярко выраженный генотоксический эффект. Предполагается, что выявленные отдалённые последствия в виде индуцированного потенциального химического мутагенеза в половых и соматических клетках обусловлены дестабилизацией генома рыб (Таликина и др., 2001). Подобное действие хлорофоса и фенола начинает проявляться при переходе личинок на внешнее питание. В результате воздействия хлорофоса и фенола на икру плотвы в эксперименте отмечены разнонаправленные отклонения от нормы общего



числа позвонков у вылупившейся молоди, что является результатом влияния ядов на зачатки позвонков (Касьянов, 2001).

Трихлоруксусная кислота в эксперименте также вызывает нарушения эмбрионального развития рыб. После 10 дней содержания эмбрионов медаки на стадии поздней бластулы в растворе трихлоруксусной кислоты (7,12-50 мкг/л и 50 мг/л) их помещали в чистую воду. Через 6 месяцев гистологические исследования печени и гонад выявили у молоди следующие патологии: кисты и спонгиозное изменение паренхимы печени, кисты и гипоплазию семенников и яичников (Bashir et al., 2002).

Простые органические вещества способны вызывать как у молоди, так и у взрослых особей, различные нарушения гематологических показателей: изменения морфологических характеристик клеток крови, количественные нарушения лейкоцитарной формулы. В целях борьбы с ихтиофтириозом проводилась обработка заводской молоди атлантического лосося малахитовым зеленым и формалином. После антипаразитарной обработки у рыб наблюдалась вакуолизация цитоплазмы эритроцитов, появились деформированные эритроциты, микроциты, шистоциты, наблюдалось выщелачивание ядер эритроцитов и лейкоцитов (Серпунин, 2000). Позднее, кроме эритроцитов неправильной формы, появились эритроциты со смещённым ядром, увеличилась доля микроцитов и шистоцитов, отмечалось нарушение осморезистентности эритроцитов и олигохромазия. По мере роста молоди в периферической крови достоверно снижалась доля лимфобластов и пролимфоцитов, а доля палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов увеличивалась (Там же). Отмеченные изменения свидетельствовали о нарушении процессов кроветворения вызванных, по-видимому, антипаразитарной обработкой молоди лосося химическими препаратами (Там же). Подобное уменьшение относительного количества лимфоцитов и увеличение нейтрофилов в крови карася вызывается поллютантами фенолом и нафталином (Балобанова, Микряков, 2002). Такие полициклические ароматические углеводороды как нафталин и  $\beta$ -нафтофлавон в

концентрациях 0,1–2,7 мкМ вызывают у европейского угря (*Anguilla anguilla* L.) снижение активности печеночной аланинтрансмутазы (индикатор здорового состояния печени) и повышение количества ядерных аномалий эритроцитов, в чем проявляется генотоксический эффект данных загрязнителей (Pacheco, Santos, 2002). В естественных водоемах при загрязнении донных отложений полиароматическими углеводородами (ПАУ) у рыб в результате стереологического морфометрического изучения печени выявлен ряд патологических образований (Stine Cynthia et al., 2002). На серийных срезах печени фундулюса (*Fundulus Heteroclitus*) изучали тип, объем, очертания и расположение очагов поражения. Общее количество поражений (эозинофильных, базофильных, светлоклеточных очагов, карцином, гемангиоперицитом и холангиом) варьировало от 10 до 125 у одной особи. Объем очагов поражения составлял 0,00012–63, 87 мм<sup>3</sup> и 0,21%–67,36% от общего объема печени (Stine Cynthia et al., 2002). Аналогичные гистопатологии печени: сосудистые опухоли – ангиосаркомы и гемангиоперицитомы, обнаружены у фундулюса, обитающего в загрязненных креазотом местах реки (Vogelbein, Zwerner, 2002).

**1.1.6. Влияние комплексных загрязнений на рыб.** К настоящему времени накоплен достаточно обширный экспериментальный материал по влиянию на возникновение у рыб патологий, аберреций и фенотипических отклонений отдельных поллютантов: сырой нефти (Urho, Hudd, 1989), аммиака (Dey, Bhattacharya, 1989; Xu et al., 1994), сточных вод (Hargis, Zwerner, 1988; Metcalfe et al., 1988; Murugesan et al., 1989; Weis et al., 1989; Shanker, Narain, 1989; Kinae et al., 1990; Doving, 1991), пестицидов (Crawford, Guarine, 1985; Richmonds, Dutta, 1989; Dethlefsen, 1989; Pain, 1989; Gill et al., 1990; Gvozdenko et al., 1997), тяжелых металлов (Pb, Hg, Cd, Cu, Cr) (Pragacheeswaran et al., 1987, 1989; Beckman, Zaugg, 1988; Dey, Bhattacharya, 1989; Borovyagin et al., 1989; Debkumar, Sinha, 1989; Joy, Kiribagaran, 1989; Krali-Klabucer, Spasoevic, 1989; Gokhale, Patit, 1989; Gautam, Gupta, 1989; Oronsaye, 1989; Paulose, 1989; Ruparelia et al., 1989; Yagana, Mandi, 1990;

Buhringer et al., 1990), алюминия (Jagoe et al., 1987; Wunder, Schmeller, 1988), солей металлов (Wasser, Abwasser-F, 1989; Oyen et al., 1991), полихлорбифенилов (ПХД и ПАХ) (Eggens, Vethaar, 1989), удобрений (мочевины и поташа) (Shanker, Narain, 1989), азота и масел (Evgenjeva, Semenova, 1994). Однако в условиях природных водоемов в воде редко присутствует какой-либо один вид поллютантов. Как правило, загрязнение водных объектов, особенно крупных рек, водохранилищ и озер, являющихся резервуарами водосбора больших территорий, сочетает в себе комплекс поллютантов различной природы и происхождения. В подобных экологических условиях невозможно оценить воздействие на организм каждого отдельного загрязнителя, так как вступают в силу непредсказуемые эффекты усиления (синергический эффект) или нейтрализации действия (аддитивный эффект) отдельных поллютантов. При этом наиболее целесообразно оценивать результаты воздействия на организмы всего комплекса загрязняющих веществ, присутствующих в водоеме.

Исследования по влиянию комплексных загрязнений на рыб разных видов из водоемов различного типа и с различающимся уровнем антропогенной нагрузки осуществлялись как в России, так и за рубежом. Установлено, что загрязнение водоемов (прежде всего – тяжелыми металлами) влияет не только на представителей ихтиофауны, но и вызывает различные деформации у зообентосных и зоопланктонных беспозвоночных (Williams et al., 1986; Metcalfe, 1989), которые являются частью кормовой базы молоди и взрослых рыб. Доказано, что влияние комплексных загрязнений может вызывать у рыб нарушения биохимических, гематологических, гистологических и др. показателей сходные с патологиями, возникающими при экспериментальном воздействии поллютантов отдельных видов.

Известны материалы о нарушении репродуктивной физиологии осетровых рыб, судака, тарани, пиленгаса и других видов рыб Азовского бассейна. В условиях интенсивного антропогенного воздействия на

экосистему Азовского бассейна эти процессы носят ярко выраженный патологический характер (Корниенко, 2004). Прямым доказательством канцерогенного воздействия отдельных компонентов загрязнения водной среды является нарушение физиологических процессов и появление новообразований у рыб (Там же). Наиболее часто патологические изменения в репродуктивной системе возникают в нерестовый период и сопровождаются дегенеративными изменениями в половых железах: атрезией овариальных фолликулов и резорбцией ооцитов (Там же). У особей азовской севрюги обнаружены патоморфологические изменения гонад, печени и изменения в картине крови вызванные токсикозами в результате комплексного антропогенного загрязнения (Бугаев и др., 2001). Исследования гистологических препаратов самок черноморских рыб 28 видов подтверждает тот факт, что антропогенное воздействие вызывает в гонадах особей различные дегенеративные процессы (Овен, 2004).

При исследовании сиговых рыб из северных водоемов, характеризующихся высоким уровнем разнородного техногенного загрязнения, также обнаружены различные патологии репродуктивной системы. Выяснено, что при развитии и функционировании генеративных тканей самок сига (*Coregonus lavaretus* L.) из оз. Имандра (по данным 1996-1999 гг.) в очагах загрязнения диагностировались патологии гистоструктуры. (Лукин, Шарова, 2002). Установлено также, что аномалии гонад встречаются у рыб значительно реже по сравнению с патологиями жабр, печени и почек. У разных видов рыб из других загрязненных озер Кольского полуострова также отмечены аномалии в строении воспроизводительной системы: асинхронность развития половых клеток, недоразвитие стромы, резорбция ооцитов трофоплазматического роста, сильная асимметрия гонад, дегенерация гонад, появление соединительнотканых перетяжек, появление гермафродитов (среди окуня, сига, налима) (Решетников и др., 1999). Большое количество гермафродитных особей (5%-35%) среди лопатоносов (*Scaphirhynchus platorhynchus*) обнаружено в загрязненных акваториях р.

Миссури (США) (Paroulias Diana et al., 2002), а также среди 45% белого окуня (*Morone americana*) из загрязненной промышленными и бытовыми стоками акватории оз. Онтарио (Канада) (Kavanagh et al., 2004).

При гистологическом исследовании внутренних органов сига (*Coregonus lavaretus* L.) из Онежского озера выявлены многочисленные патологические изменения: очаговые кровоизлияния, воспалительные процессы, избыточное развитие соединительной ткани, нарушения обмена веществ (Горьковец, 2002, 2003). В жабрах у большинства обследованных сигов зафиксированы гипертрофия эпителия филламентов и нарушения структуры респираторных ламелл в виде искривления, адгезии и редукции, что значительно нарушает процесс газообмена. В печени изученных рыб отмечены развитие соединительной ткани вокруг триад и множественные петехии из-за возможного нарушения проницаемости сосудистых стенок. В почках выявлены разрушения почечной паренхимы, значительные соединительнотканые тяжи в строме органа, канальцевая инфильтрация и гипертрофия канальцевых эпителиальных клеток, новообразования, представляющие собой структуры, окружённые мощной соединительнотканной оболочкой и содержащие слизь и разрушенные клетки (Горьковец, 2002). У этих же особей наблюдались патологические изменения в сердечной мышце в виде микрокровоизлияний. Новообразования, некротические и воспалительные процессы, нарушения кровообращения (кровоизлияния, телеангиэктазия, стазы) и тканевого метаболизма (жировая дистрофия) обнаружены также у усатого гольца (*Barbatula barbatula* L.) из рек бассейна Онежского озера (Горьковец, 2003). Основным фактором, определяющим проявление подобных расстройств, автор считает комплексное техногенное загрязнение исследованных водоемов. У всех обследованных особей некоторых видов сиговых рыб из Ладожского озера и р. Вуокса (рипус – *Coregonus albula* isp. *ladogensis*; ряпушки – *Coregonus albula*; сига – *Coregonus lavaretus*) обнаружены патологии поджелудочной железы, выражающиеся в деструкции ацинарных

клеток, пикнозе ядер и сильной вакуолизации цитоплазмы клеток, отсутствии зернистости и отечности клеток (Кузнецова, 1999). Отмечено также переполнение кровеносных сосудов эритроцитами, увеличение количества соединительной ткани в выводных протоках желез и стенках кровеносных сосудов. Основной причиной обнаруженных патологий указывается хронический токсикоз, вызванный комплексным загрязнением изученных водоемов (Там же).

По мнению Феклова Ю.А. (2003) в зависимости от физико-химических свойств токсикантов для оценки их воздействия на биоту требуются конкретные виды-индикаторы среды и соответственный подход. Так, для определения степени влияния поллютантов на бентофауну Белого моря наиболее приемлема речная камбала (*Platichthys flesus* L.) при углубленном гистологическом анализе ее внутренних органов (Там же). У пелагических рыб, и у речной камбалы Белого моря в частности, при воздействии комплекса токсических веществ наблюдались необратимые изменения в кишечнике, печени и других органах, чаще всего несовместимые с жизнью (Там же). При данном воздействии у камбалы развиваются начальные этапы ответной реакции организма на токсикацию, выражающиеся в снижении функциональной активности печени (уменьшение размеров гепатоцитов, их ядер, снижении содержания в клетках трофических веществ) (Там же). В почках обследованных рыб отмечались увеличение высоты пинеалоцитов, вакуолярная эпителиальная дистрофия (зернистость) и скопление гемосидерина. В зависимости от величины воздействия (концентрации токсикантов в воде) в печени камбалы формировались обширные зоны некроза, фиброзно-коллагеновые перерождения тканей, скопления в них гемосидерина и агломератов макрофагов, кровоизлияния, гиперемия сосудов и инфильтрация форменных элементов крови в ткань органа (Там же). Гистологическое состояние органов нескольких видов (темная камбала – *Pleuronectes obscurus*; полосатая камбала – *P. pinnifasciata*; длиннорылая камбала – *P. punctatissimus*) камбал также применялось для оценки уровня

загрязнения прибрежных вод залива Петра Великого (Японское море). При хронической интоксикации у 10-30% обследованных особей обнаружен широкий спектр гистопатологических нарушений печени (очаговое изменение клеток и гидропическая дистрофия) и жабр, что свидетельствует о неудовлетворительном состоянии здоровья камбал в загрязненных районах залива (Сяпина, 2001). В наиболее загрязненных поллютантами акваториях залива Петра Великого (бухта Сивучья) у рыб в единичных случаях обнаруживались новообразования глаз, печени, жабр и кожи, представляющие собой сложное сочетание двух типов гетерогенных опухолей – эпидермальных папиллом и рабдомиосарком (Там же). Выявлены также различные уродства (искривления позвоночника у кефалевых рыб, изменения пропорций тела и патологические изменения в органах у карася, деформация челюстей у саргана, изменения внешней окраски и опухоли различной локализации у камбал) у рыб из устья р. Туманной, впадающей в залив Петра Великого (Сяпина и др., 2001).

Гистологические нарушения в жаберном аппарате, структурах гонад и печени рыб обнаруживались также в загрязненных реках Сибири. Так у плотвы из р. Тура (г. Тюмень) были зафиксированы многочисленные патологии жабр, печени и гонад в пределах городской черты и ниже по течению, в то время как выше г. Тюмень по течению у рыб нарушений не отмечено (Селюков и др., 2003).

На комплексное загрязнение водоемов и водотоков Волго-Каспийского бассейна химическими токсическими веществами осетровые и костистые рыбы быстро отреагировали широким спектром нарушений в процессах формирования гонад, цитологической дифференциации и последующего развития половых клеток на ранних стадиях онтогенеза (Романов, 2002), серьезными нарушениями в других органах и тканях. Так, по данным 1997 г. (Хорошко и др., 1997) известно, что наиболее напряженная экологическая обстановка в дельте Волги наблюдалась в 1975 и 1988-1989 гг. К 1997 г. содержание нефтепродуктов в волжской воде варьировало в пределах

фоновых значений (2-6 ПДК). Уровень фенолов достигал максимальных значений в 1972, 1977-1978, 1986 и 1990 гг, однако к концу XX века зафиксировано снижение содержания в воде как фенолов, так и хлорорганических пестицидов (ХОП). Отмечено, что уровень накопления ХОП тканями частиковых рыб несколько ниже, чем у осетровых, и зависит от типа питания (хищные, растительноядные) (Хорошко и др., 1997).

Сложная экологическая обстановка имеет место не только в Волге и северном Каспии, где сосредоточен основной приток пресных вод рек Урал и Волга. Стереотипические изменения в половых клетках осетровых и бычков обнаружены как вдоль западного побережья Каспия (Дагестан, Азербайджан), так и восточного (Туркменистан), что свидетельствует о загрязнении Волго-Каспийского бассейна в целом. Для рыб Каспия стали «нормой» нарушения обмена веществ, присутствие энергопластических веществ в сыворотке крови (белки, липиды, холестерин и др.), что сопровождается серьезными дегенеративными изменениями в половых клетках, особенно на завершающих этапах созревания (Романов, 2002). Гистоморфологические исследования осетровых Волго-Каспийского бассейна обнаружили широкий спектр морфофункциональных нарушений не только в репродуктивной системе. Вылов рыб с тератомами, опухолями на гонадах, печени, сердце, желудке, жабрах (отмечено большое количество рыб с аномалиями жаберного аппарата: дополнительный ряд филламентов, полное или частичное отсутствие филламентов на жаберных дугах) свидетельствует о продолжающемся хроническом комплексном загрязнении. Кроме того, у рыб в реке и в море в большей степени проявляется тератогенный и канцерогенный эффекты в результате хронического загрязнения (Романов и др., 2001). В настоящее время неоспоримо доказано, что у рыб многие опухоли, особенно печени и желчных протоков, вызываются присутствующими в воде канцерогенными токсикантами (Давыдов и др., 2001).



Воздействие токсических веществ антропогенного характера вызывает у волго-каспийских осетровых различные нарушения морфологии печени, почек, жабр, мышц и селезенки. Выявленные необратимые патологии (особенно в печени), обусловленные кумулятивным токсикозом, приводят в итоге к элиминации рыб, либо к исключению их из процессов воспроизводства (Кобегенова, Жимбей, 2000). В условиях комплексного загрязнения водоемов Волго-Каспийского региона в клетках печени и поджелудочной железы осетровых рыб обнаруживаются признаки жировой дистрофии, венозный застой в печени, мелкие некротизированные участки поджелудочной железы, атрофированные синусы, инфильтрация лейкоцитами межацинарной соединительной ткани и ее отек, сосудистые расстройства (Зайцев и др., 2001). Подобные нарушения были зафиксированы в почках производителей севрюги: скопления дегенеративных эритроцитов, многочисленные мелкие кровоизлияния (инфильтрации), мутная дистрофия эпителия извитых канальцев, склеивание петель капилляров в почечных тельцах (Кудренкова, 2001). С хронической неспецифической интоксикацией связаны и многочисленные патологии скелетной мускулатуры некоторых видов осетровых и костистых рыб Волго-Каспийского бассейна (Алтуфьев, Гераскин, 2003). Обнаруженные дегенеративные изменения в красных мышцах скелетной мускулатуры, а также в сердечной мышце, по мнению Евгеньевой Т.П. (2000), развивались под воздействием внешних факторов и могут быть классифицированы как миодистрофии. Эти изменения связаны с проникновением лимфоидных элементов из кровеносных сосудов и лимфы в пространства между мышечными волокнами, при этом виде патологии саркоlemma миоцитов разрушается в первую очередь, поскольку в зоне контакта с лимфоидными клетками она подвергается лизису протеолитическими ферментами этих клеток (Там же). Гистоморфологические исследования половых желез каспийских осетровых на протяжении 15 лет позволили выявить динамику необратимых нарушений в развитии половых клеток (ооцитов) и их

количественную характеристику (Романов, 2000). Отклонения в гаметогенезе периода протоплазматического роста были связаны, прежде всего, с нарушениями структуры ядра (кариопикноз, кариорексис) у 20% особей (10-15% ооцитов) и цитоплазмы (фрагментация на отдельные обособленные участки) у 10% самок (15% ооцитов). Это явление необратимое, сопровождающееся некрозом ооцитов и их резорбцией (Там же). Все это однозначно свидетельствует только о влиянии антропогенного фактора (комплексного загрязнения) на формирование запасов осетровых в современных условиях (Там же). Результаты исследования физиологического состояния осетровых рыб Волго-Каспийского региона свидетельствуют о хронической интоксикации особей при воздействии комплекса неблагоприятных антропогенных факторов (в основном – комплексных загрязнений). В этом процессе в большей степени начинает участвовать и репродуктивная система, различного рода нарушения которой обнаружены у значительного числа обследованных особей (Гераскин и др., 2004).

В водохранилищах Средней и Нижней Волги у рыб разных видов и возрастных групп на протяжении последних десятилетий неоднократно обнаруживались различные типы морфологических аномалий, нарушения физиологических и гематологических показателей, гистопатологии внутренних органов и тканей. Морфопатологические исследования леща из Рыбинского и Горьковского водохранилищ показали, что состояние органов и тканей тесно связано с состоянием среды обитания, характером распределения загрязняющих веществ по акватории и особенностями экологии (Васильев и др., 2004). Установлено, что на участках водохранилищ с повышенным уровнем загрязнения у особей отмечены аномалии в строении плавников и ротового аппарата, искривления позвоночника, изменения в селезёнке и гонадах, наличие очагов некроза и язв на теле (Там же). В жабрах, печени, почках и кишечнике также обнаружены многочисленные гистопатологии (Там же).

При изучении гистологической структуры стенки кишки щуки обыкновенной (*Esox lucius*) и плотвы (*Rutilus rutilus*) из Ветлужского залива Чебоксарского водохранилища, который считается “условно загрязненным” водоемом, обнаружены нарушения гистологической структуры стенки кишечника, свидетельствующие о неблагоприятном воздействии факторов среды на рыб (Трубачева и др., 2000). Среди молодежи карповых рыб Саратовского, Куйбышевского водохранилища и водоемов Волго-Атубинской поймы на протяжении ряда лет (1995-2013 гг.) встречаются особи с более чем 60 типами различных морфологических аномалий (Минеев, 2013г), среди которых велика доля различных новообразований (Минеев, 2011б, 2012в). Нередки находки половозрелых особей с аномалиями боковой линии, искривлениями позвоночника, недоразвитием плавников и отсутствием плавников, недоразвитостью глаз, искривлениями челюстей (Минеев, 2012б). Среди половозрелых рыб разных видов (карповых, окуневых, бычковых), велика встречаемость особей с патологиями эритроцитов и нарушениями основных гематологических параметров: соотношением зрелых эритроцитов и нормобластов, соотношением лейкоцитов и эритроцитов, соотношением различных форм лейкоцитов (Минеев, 2007а, 2012а, 2013д,е). Разнообразные гистопатологические отклонения зафиксированы во внутренних органах (жабры, печень, сердечная мышца, гонады) у ротана-головешки (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877), бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) Саратовского водохранилища (Минеев, 2009, 2011а, 2013б,в).

Однако, основные результаты по патоморфогенезу рыб Волго-Каспийского бассейна получены в основном на хозяйственно-ценных осетровых видах рыб Северного Каспия и дельты Волги, которые в настоящее время отсутствуют в большинстве водохранилищ Средней и Нижней Волги. Таким образом, представляется перспективным и научно обоснованным комплексное исследование современного

морфофизиологического состояния популяций массовых видов карповых, окуневых и бычковых рыб из водоемов Средней и Нижней Волги как основного показателя благополучия данных водоемов, так как разные виды рыб проявляют одинаковые морфофизиологические реакции на воздействия комплексных загрязнений водной среды.

### **1.2. Комплексное загрязнение водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги как один из определяющих факторов возникновения различных неспецифических реакций у рыб**

Качество водной среды является первостепенным фактором, определяющим существование и возможность длительной эксплуатации водных биологических ресурсов. В связи с этим, отправной точкой отсчета для перехода к нормированию допустимого уровня загрязнения водной среды, является интегральная оценка воздействия водных масс на «здоровье» гидробионтов, т.е. – оценка современного состояния водных экосистем (Розенберг и др., 2011). В данной ситуации в качестве тестового объекта успешно используются рыбы, так как отечественной водной токсикологией накоплен определенный материал по влиянию отдельных веществ на организм рыб.

В результате происходящих негативных преобразований за последние десятилетия конца XX – начала XXI отмечается тенденция резкого уменьшения вылова рыбы из водоемов волжского бассейна (Кузнецов, 2000а, 2000б; Евланов, Козловский, Розенберг, 2000; Розенберг и др, 2011).

Проведенные нами ихтиологические исследования (Евланов и др., 1999; Минеев, 2003, 2005, 2007а,б, 2009; 2010) показали, что качество водных масс Волжских водохранилищ находится в неудовлетворительном состоянии и это оказывает отрицательное состояние на рыбные ресурсы.

К настоящему времени накоплен некоторый практический и теоретический материал по экологическому состоянию водоемов Волго-Каспийского бассейна (р. Волга, р. Урал, Северный Каспий), а также по

влиянию загрязнений различного типа на популяции рыб данных водоемов (прежде всего – на хозяйственно ценные осетровые виды рыб). Доказано, что в воде волжских водохранилищ и их притоков постоянно присутствуют различные загрязняющие вещества, часто образующие комплексные загрязнения. Однако, невозможно определить характер и степень загрязнения того или иного водоема в каждой точке и в нужный нам момент времени, так как на распределение загрязнителей по акватории влияет множество различных факторов: очаги и уровень исходного загрязнения, особенности гидрологического режима изучаемого водоема, сезонные метеорологические условия и т.д. При этом невозможно определить, какое конкретное воздействие окажет каждый элемент комплексного загрязнения на морфофизиологическое состояние организмов, обитающих в зоне интоксикации, как в начальные моменты загрязнения водоема, так и с течением времени.

В настоящее время можно согласиться лишь с тем, что уровень загрязнения самих волжских водохранилищ – Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского, являющихся основными водоемами водосбора, значительно выше, чем уровень загрязнения их основных притоков. Достоверно различается также характер загрязнения данных водоемов, состав основных загрязняющих веществ в воде водохранилищ значительно разнообразнее, чем в их притоках. Это подтверждается данными таблицы 1. Не вызывает сомнения и тот факт, что поллютанты, присутствующие в разной степени как в водных массах водохранилищ, так и в воде их притоков, являются одним из определяющих факторов возникновения различных морфофизиологических нарушений у рыб разных видов и возрастов. Согласно данным таблицы 1 наибольшее разнообразие загрязняющих веществ обнаруживаются в трех водохранилищах Средней и Нижней Волги – в Куйбышевском, Саратовском и Волгоградском.

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

Исследуемый водоем	Превышения рыбохозяйственных ПДК по основным загрязнителям водоемов (тах превышения ПДК / среднегодовые превышения ПДК)								Класс качества воды
	ХПК	БПК <sub>5</sub>	Нефтепродукты	Фенолы	Сульфаты	Нитраты, нитриты	Mn	Cu	
Куйбышевское водохранилище	5 / 2	4 / 2	5 / 2	6 / 2	5 / 2	5 / 2,2	5 / 2	5 / 2,3	3 А, Б
Саратовское водохранилище	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 водохранилище	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 пойма	2 / 1,2	3 / 1,7	-	-	-	4,5 / 1,4	4 / 1,5	3 / 1,2	2 – 3 Б
Притоки Саратовского водохранилища									
р. Сок (устьевой участок)	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 (устьевой участок)	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 литературных данных о состоянии природной среды в регионах Среднего и Нижнего Поволжья (Волга: Независимые исследования, 1994; 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; Экологический паспорт Самарской области, 2015).

Достаточно высоки максимальные и среднегодовые превышения ПДК таких загрязнителей как марганец (Mn), медь (Cu) и соединения азота (азот нитритный и аммонийный). Несмотря на то, что в некоторых притоках содержание меди и марганца превышает таковое в воде водохранилищ (в рр. Съезжая, Б. Кинель и Чапаевка максимальные концентрации Mn достигали 42, 15,8 и 16 ПДК, в рр. Кондурча, Самара и Чапаевка содержание Cu доходило до 13, 11 и 30 ПДК), концентрации других поллютантов заметно ниже чем в водохранилищах. При этом не наблюдалось превышений среднегодовых и максимальных ПДК таких загрязнителей как нефтепродукты и фенолы, а в рр. Кондурча, Самара и Чапаевка не зафиксировано превышений по БПК<sub>5</sub> и сульфатам. Аналогичная ситуация наблюдается и в притоках Куйбышевского водохранилища. В рр. Ува и Нылга, являющихся притоками пятого порядка, обнаружены незначительные среднегодовые превышения ПДК лишь по БПК<sub>5</sub> и сульфатам, тогда как другие загрязнители не обнаружены. Только в р. Большой Черемшан (приток первого порядка) и в р. Позимь (приток третьего порядка) зафиксированы значительные максимальные превышения ПДК соединений азота, марганца и меди в очагах сильной антропогенной нагрузки. В то же время не обнаружено сульфатов, а среднегодовые и максимальные превышения ПДК по ХПК, БПК<sub>5</sub>, нефтепродуктов и фенолов в воде этих притоков существенно ниже, чем в Куйбышевском водохранилище.

Во время наших исследований, как и на протяжении последних десятилетий, Саратовское водохранилище испытывает значительную антропогенную нагрузку, а качество воды данного водоема в среднем характеризуется как «умеренно загрязненная» 3 класса качества. Так, основной сброс сточных вод от природопользователей Самарской области производится в этот водоем (Выхристюк и др., 1996; Гос. доклад ..., 1997, 2000, 2001, 2009). Сложившаяся экологическая ситуация носит хронический характер, вследствие чего на популяции гидробионтов оказывается постоянный пресс негативных абиотических факторов, что не может не

отразиться отрицательно на качественном и количественном состоянии этих популяций.

Таким образом, к настоящему времени в Саратовском водохранилище сложилась неблагоприятная ситуация для процессов естественного воспроизводства рыб. Постоянное присутствие в воде различных загрязнителей привело к тому, что тяжелые металлы (и другие поллютанты) стали не только накапливаться в рыбах (Батоян, Сорокин, 1989), но и отмечаются многочисленные аномалии внешнего и внутреннего строения, как у личинок и мальков рыб, так и у взрослых особей данного региона (Минеев, 2003, 2007б).

В воде изучаемых водоемов периодически отмечалось превышение ПДК и других загрязняющих веществ (содержание общего железа в воде Саратовского водохранилища превышало ПДК 1,2-3,6 раза, в 1999-2000 гг. в воде р. Чапаевка около г. Чапаевска обнаружены хлорорганические пестициды, содержание которых в воде недопустимо, их концентрация в весенний период достигала 37 ПДК), однако, подобные загрязнения имели, как правило, очаговый и непостоянный характер.

Негативное влияние на состояние воды волжских водохранилищ постоянно оказывают предприятия жилищно-коммунального хозяйства, энергетической и нефтехимической промышленности, поверхностный сток с сельхозугодий, а также ливневые стоки городских территорий (Гос. доклад ..., 2012). При этом антропогенная нагрузка на основные притоки исследованных водохранилищ значительно ниже, и складывается, в основном, из диффузных стоков с сельхозугодий, бытовых и промышленных стоков прибрежных населенных пунктов. В связи с этим качество воды водохранилищ и их притоков, согласно критерию удельного комбинаторного индекса загрязненности воды – УКИЗВ, заметно различается. Если качество воды большинства притоков оценивается из года в год как «вода загрязненная» (3А класс качества) и «очень загрязненная» (3Б класс качества), то вода в волжских водохранилищах достигает 4А и 4Б класса



качества – «грязная и очень грязная» (Гос. доклад ..., 1997, 2000, 2001, 2012). В притоках водохранилищ вода может характеризоваться как «грязная» 4А класса качества, но такая ситуация имеет, как правило, очаговый, нестабильный и недолговременный характер из-за гидрологических особенностей этих водоемов.

Таким образом, присутствие в волжской воде большого спектра различных загрязняющих веществ в сочетании с другими неблагоприятными факторами среды является одним из основных стресс-факторов для популяций рыб из водоемов Средней и Нижней Волги.

Несмотря на накопленный за последние несколько десятилетий довольно обширный научный материал по результатам воздействий различных неблагоприятных факторов на адаптивные возможности и проявления патологических процессов в популяциях различных гидробионтов, существующие результаты исследований достаточно разрознены и не систематизированы. Являются единичными исследования адаптационных и патологических реакций у рыб на разных уровнях организации (клеточный, тканевой, органной, организменный и популяционный), охватывающих обширные акватории, экологические условия, протяженные периоды времени, различные возрастные, видовые и экологические группы.

Проведение подобного исследования приобретает особую актуальность в связи с тем, что его результаты позволяют дать исчерпывающие достоверные сведения об изменениях, происходящих не только в отдельных популяциях рыб, но и о динамике преобразования всей ихтиофауны водоема (или системы водоемов) в современных экологических условиях.

## Глава 2

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Возможность негативного воздействия отдельных видов загрязняющих веществ или их комплексов на рыб была установлена еще в конце XIX века выдающимся российским ихтиологом и рыбоводом О.А. Гримом. Им впервые были выполнены экспериментальные работы по определению токсичности действия нефти на рыб р. Волги (цит. по: Лукьяненко, Карпович, 1989).

В настоящее время методы оценки морфофизиологического состояния позвоночных получили признание и широкое распространение, так как состояние здоровья гидробионтов вообще, и рыб в частности, может служить обобщенным и надежным показателем степени экологического состояния водных экосистем (Захаров, Кларк, 1993). Однако не существует единого универсального критерия для оценки всех антропогенных воздействий. Например, при оценках эвтрофирования водоемов наиболее ясную картину формируют изменения фитопланктонного сообщества, закисления вод – зообентосного, токсичного загрязнения – нарушения в организме рыб (Моисеенко и др., 2010).

Состояние организма рыб может оцениваться на разных уровнях – клеточном, тканевом, органном и организменном. В силу этого морфофизиологическое здоровье является объективным и приемлемым критерием как состояния отдельных особей и популяций в целом, так и экологического состояния исследуемого водоема.

Для биологической оценки может использоваться широкий арсенал различных методических подходов и методов – иммунологические, генетические, биохимические, физиологические, морфологические, морфогенетические, патологоанатомические, патологоморфологические,

патологогистологические и др. Однако многие методы, в особенности биохимические или физиологические, достаточно сложны, поэтому не могут быть массовыми при исследованиях на природных водоемах (Там же). Предложенный Т.И. Моисеенко с соавторами методический двухуровневый подход позволяет сочетать в оптимальном соотношении возможность получения массового материала и установления точного диагноза. Выделен первый *макроуровень* обследования индивидуумов, по которому заболевания выявляются на основе массового визуального обследования организмов и предварительный диагноз устанавливается по клиническим и патологоанатомическим симптомам отравлений (Там же).

Второй *микроуровень* диагностики включает в себя гематологические, гистологические, биохимические, инструментальные физиологические и другие методы. Последние не могут быть массовыми в силу трудоемкости, но используются для уточнения диагноза и оценки последствий патологических изменений в организме рыб (Там же).

В использовании по отдельности того или иного метода для оценки воздействия поллютантов на рыб имеются как свои специфические особенности, так и определенные недостатки, поэтому и в наших исследованиях методы патологоморфологического, патологоанатомического, гематологического и гистологического изучения рыб применялись в комплексе, что способствовало формированию наиболее полного представления о проявлении неспецифических реакций в популяциях волжских рыб.

Для отлова необходимого ихтиологического материала – рыб разных видов и возрастных групп, нами применялись различные методы и орудия лова. Молодь массовых видов рыб на разных стадиях личиночного и малькового развития образует в весенне-летний период скопления различной величины в прибрежной зоне исследуемых водоемов, при ее отлове мы использовали набор сачков из мелкочаеистого мельничного газа.

Перед отбором проб в месте скоплений молоди рыб производились замеры температуры воды. Предличинки, личинки и ранние мальки массовых видов рыб 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, пробы молоди не отбирались 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, а также представители видов бычковых и головешковых рыб отлавливались при помощи мальковой волокуши с размером ячеи в кутке ×5 мм и размахом крыльев 10 м. Половозрелые особи массовых карповых и окуневых рыб вылавливались с помощью набора ставных сетей с набором ячеи от ×15 мм до ×65 мм, а также методом пелагического траления с использованием НИС «Биолог» и пелагического трала с размахом крыльев 45 м и ячеей в кутке ×45 мм.

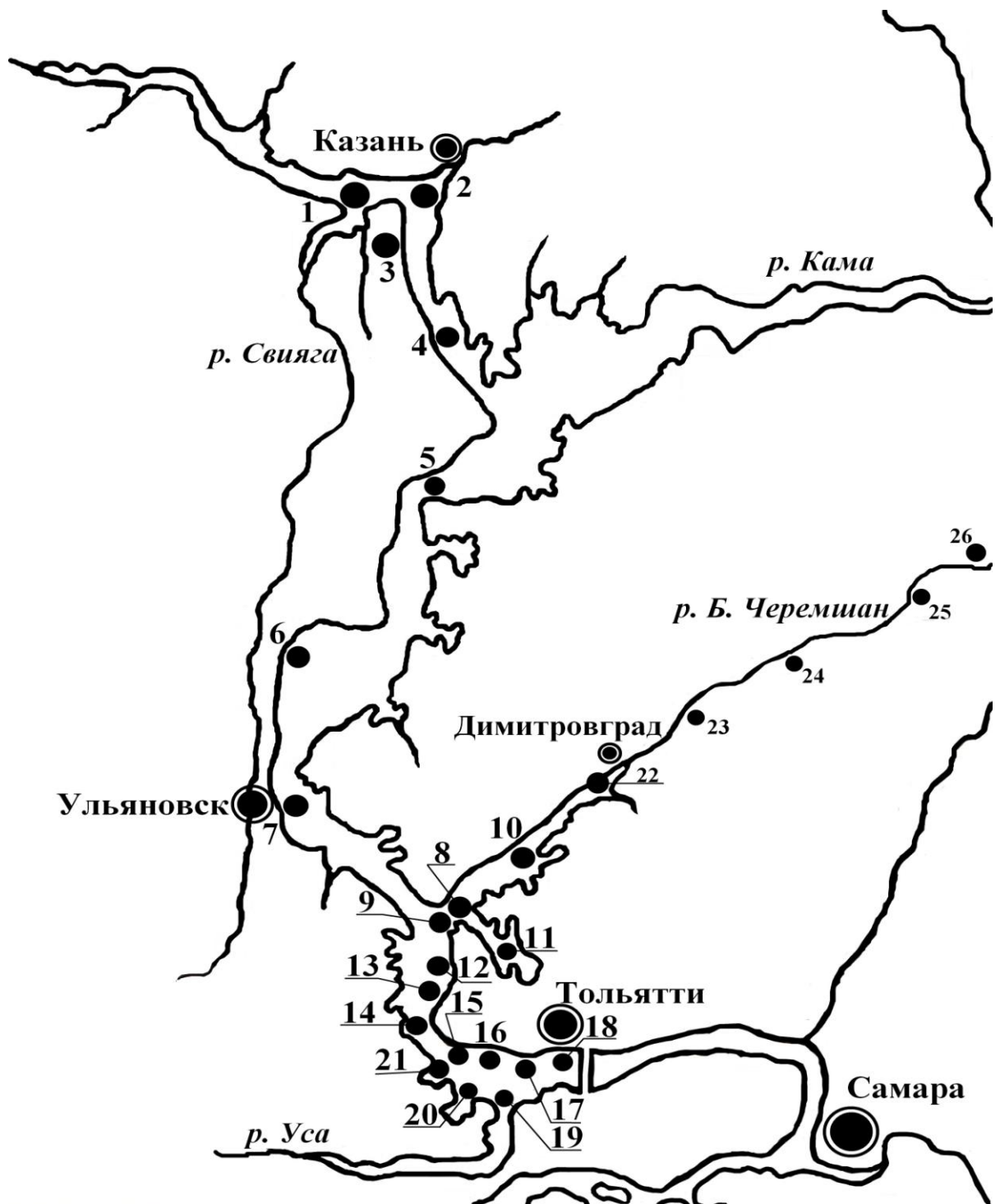
Сбор ихтиологического материала производился в весенне-осенний период 1995–2014 гг. на акватории следующих водоемов и водотоков: Куйбышевское водохранилище и его притоки (рисунок 1), Саратовское водохранилище и его притоки (рисунок 2), Волгоградское водохранилище

(рисунок 3), водоемы Волго-Ахтубинской поймы (рисунок 4), а также притоки Куйбышевского водохранилища 3-го и 5-го порядка (Удмуртская республика) (рисунок 5).

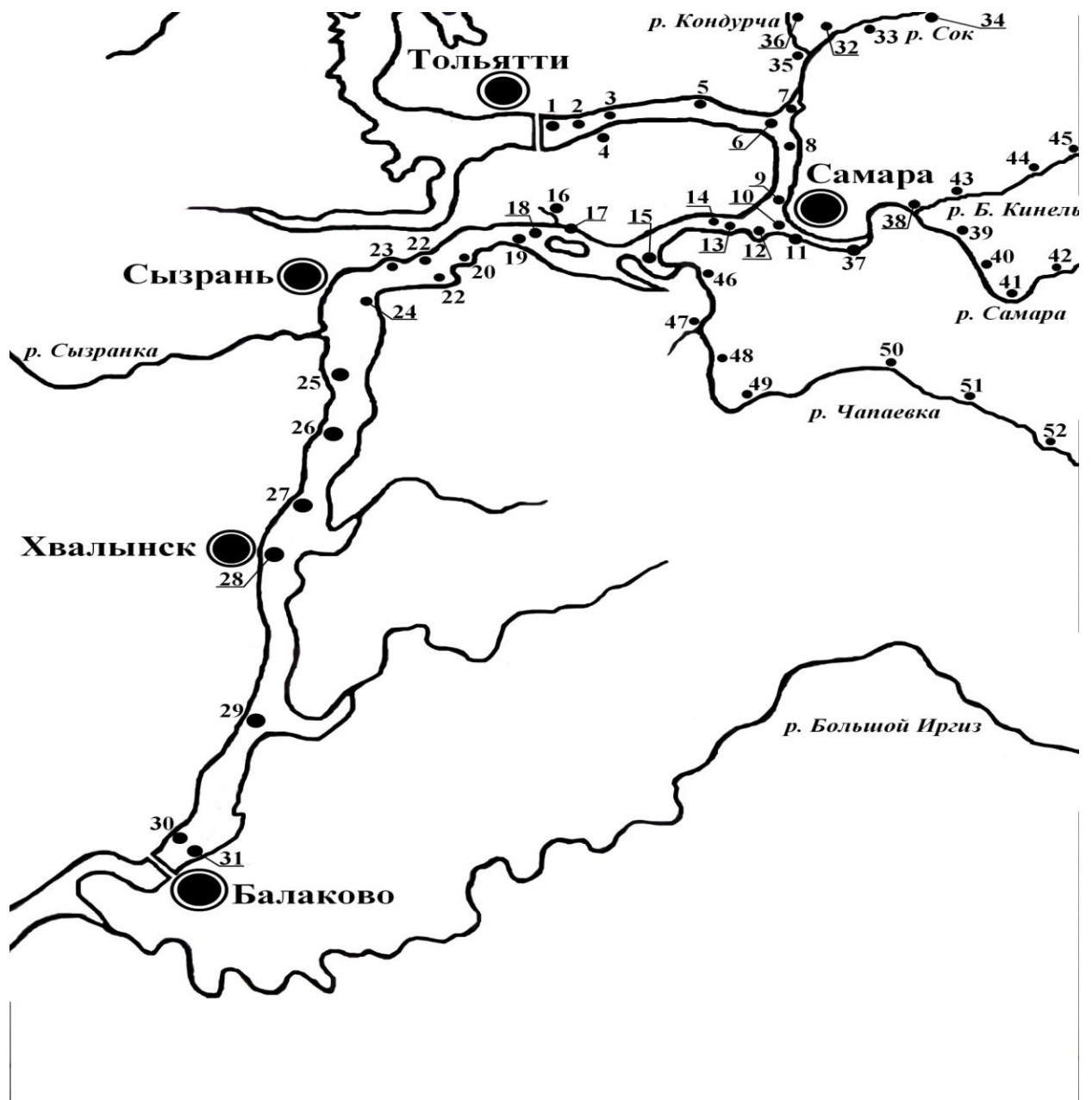
Для соблюдения необходимых условий получения корректного репрезентативного материала нами были выбраны соответствующие методики ихтиопатологических, гематологических и гистологических исследований. Патологоморфологический метод исследования был основным при изучении морфологических аномалий у личинок и мальков рыб. Объем обследованной с помощью этого метода молодежи рыб из различных водоемов Средней и Нижней Волги представлен в таблице 2.

**Таблица 2.** Количество молодежи рыб из разных водоемов и водотоков, обследованных на наличие морфологических аномалий

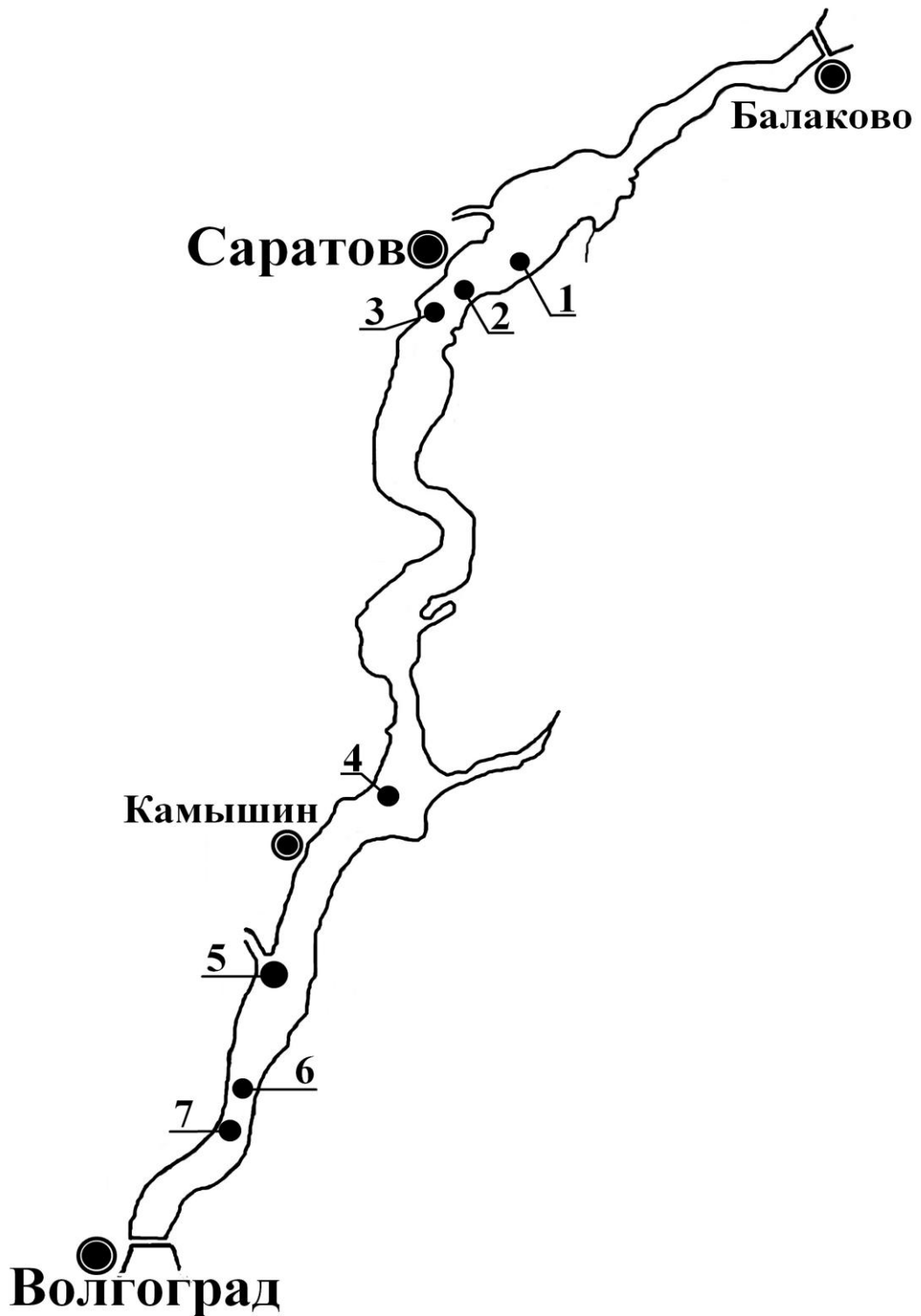
Водоем	Период исследования	Кол-во обследованных особей молодежи рыб, экз.
Куйбышевское водохранилище	1983-1986 гг.	2147
	1996-1998 гг.	1421
Притоки Куйбышевского водохранилища		
Р. Большой Черемшан	2012 г.	909
р. Ува	2011-2013 гг.	199
р. Нылга	2011-2013 гг.	166
р. Позимь	2012 г.	1946
Саратовское водохранилище	1995-2013 гг.	23027
Притоки Саратовского водохранилища		
Р. Самара	2012, 2013 гг.	1578
Р. Съезжая	2013 г.	1857
Р. Большой Кинель	2012 г.	445
Р. Кутулук	2013 г.	130
Р. Кондурча	2013 г.	212
Р. Сок	1996, 1997, 2007, 2009, 2010 гг.	1417
р. Чапаевка	1995, 2009, 2013, 2014 гг.	557
Волгоградское водохранилище	2011 г.	1185
Волго-Ахтубинская пойма	1996, 1997, 1998 гг.	15131
Общее число обследованных особей, экз.	1983-2014 гг.	52327



**Рисунок 1.** Схема расположения станций отлова молоди и половозрелых рыб на Куйбышевском водохранилище: 1 – г. Свияжск, 2 – г. Казань (порт), 3 – с. Ключищи, 4 – с. Красновидово, 5 – г. Тетюши, 6 – с. Ундоры, 7 – г. Ульяновск, 8 – вход в Сусканский залив, 9 – о. Екатериновский, 10 – о. Борок, 11 – Сусканский залив (соминая яма), 12 – полигон, 13 – лесосплав, 14 – с. Новодевичье, 15 – 1 км выше водозабора ВАЗ, 16 – канал условно чистого стока и 100 м ниже канала, 17 – яхт-клуб «Дружба», 18 – порт г. Тольятти, 19 – устье р. Уса, 20 – убежище Ахтуши, 21 – убежище Подвалье, 22-26 – расположение станций на р. Большой Черемшан.

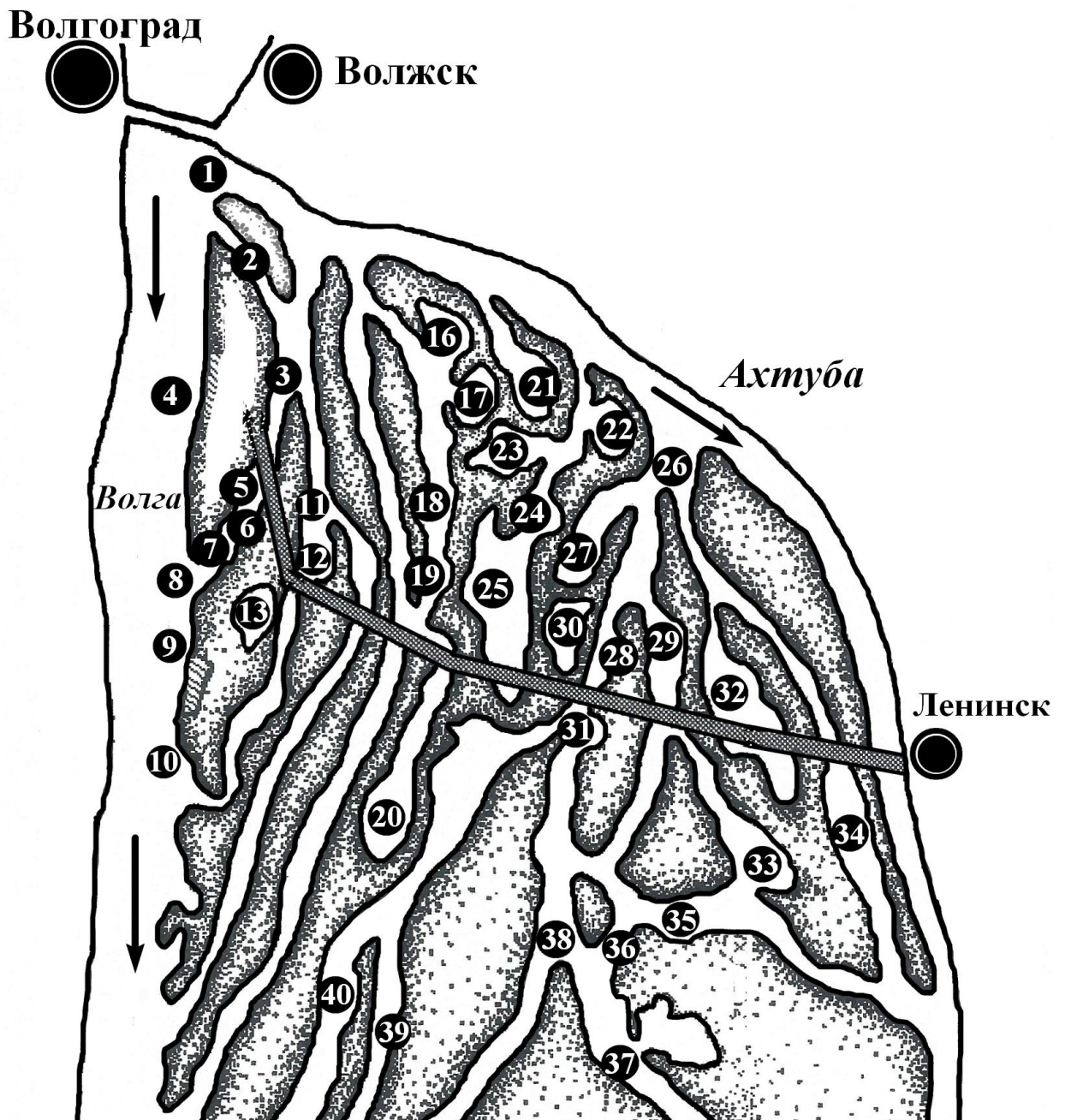


**Рисунок 2.** Схема расположения станций отлова молоди и половозрелых рыб на Саратовском водохранилище и его притоках: 1 – п. Федоровка, 2 – п-ов Копылово, 3 – о. Середыш, 4 – с. Зольное, 5 – протока Старый Мокрец, 6 – устье р. Сок, 7 – устье р. Сок (залив), 8 – п. Красная Глинка, 9 – о. Серный, 10 – устье р. Самара, 11 – устье р. Самара (выше на 1 км), 12 – протока Сухая Самарка, 13 – Тушинская воложка, 14 – Рождествено-Шелехметская пойма, 15 – устье р. Чапаевка, 16 – р. Студенка, 17 – Кольцовская воложка, 18 – о. Екатериновский, 19 – пойма с. Брусяны, 20 – пойма напротив с. Переволоки, 21 – г. Печерск, 22 – пойма напротив г. Октябрьск, 23 – г. Октябрьск, 24 – пойма напротив г. Сызрань, 25 – пойма напротив с. Приволжье, 26 – Аграфеновская гора, 27 – с. Большая Федоровка, 28 – г. Хвалынский, 29 – с. Алексеевка, 30 – с. Меровка, 31 – пойма около Балаковской АЭС, 32-34 – расположение станций на р. Сок, 35-36 – расположение станций на р. Кондурча, 37-42 – расположение станций на р. Самара, 43-45 – расположение станций на р. Б. Кинель, 46-52 – расположение станций на р. Чапаевка.

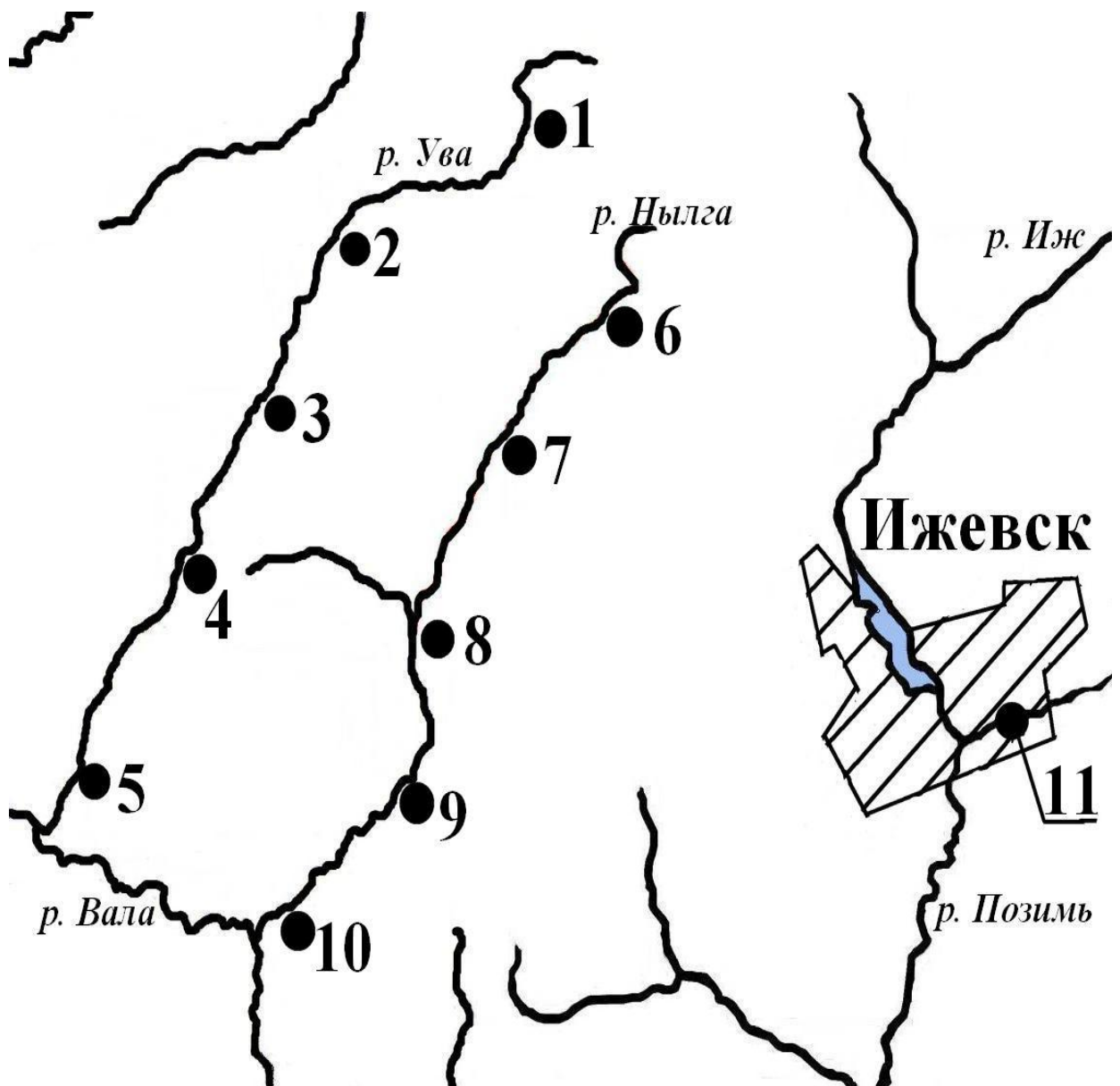


**Рисунок 3.** Схема расположения станций отлова молоди и половозрелых рыб на Волгоградском водохранилище: 1 – 1 км выше г. Саратов (автомобильный мост), 2 – пойма напротив г. Саратов, 3 – 1 км ниже г. Саратов (грузовой порт), 4 – с. Нижняя Добринка, 5 – п. Горный Балыклей, 6 – залив напротив с. Новоникольское, 7 – устье р. Оленья.





**Рисунок 4.** Схема расположения станций отлова молоди рыб в Волго-Ахтубинской пойме: 1 – р. Волга, 2 – ерик Таловой, 3 – ерик Булгаков, 4 – с. Покровка, 5 – ерик Булгаков (1 км от Волги), 6 – ерик Булгаков (500 м от Волги), 7 – ерик Булгаков (300 м от Волги), 8 – ерик Булгаков (устье), 9 – с. Булгаково, 10 – пристань ок. с. Булгаково, 11 – ерик Калинов (выше моста), 12 – ерик Калинов (мост), 13 – оз. Тутовник, 14 – ерик Огибной, 15 – ерик Верблюжий, 16 – оз. Топкое, 17 – оз. Садок, 18 – ерик Яроватый, 19 – ерик Яроватый (выше моста), 20 – оз. Чикомазы, 21 – оз. Шаулайское, 22 – оз. Светлое, 23 – оз. Раскаты, 24 – ерик Кудаевский, 25 – оз. Кудаевское, 26 – ерик Дубок, 27 – оз. Дубок, 28 – ерик Старая Ахтуба, 29 – ерик Гусиный, 30 – оз. Мотылево, 31 – вход в ерик Кобыльяха, 32 – оз. Бесчастное, 33 – оз. Боярское, 34 – ерик Посольский, 35 – ерик Узкая Ахтуба, 36 – оз. Прорва, 37 – вход в оз. Лопушок, 38 – ерик Золотой, 39 – ерик Шумроватый, 40 – ерик Таловой, ■ – насыпь дамбы.



**Рисунок 5.** Схема расположения станций отлова молоди и половозрелых рыб на притоках Куйбышевского водохранилища (Удмуртская республика): р. Ува (приток пятого порядка), 1 – п. Тюлькино-Пушкари, 2 – п. Пачегурт, 3 – п. Ува, 4 – с. Ольховка, 5 – с. Вавож; р. Нылга (приток пятого порядка): 6 – с. Чекан, 7 – п. Областная, 8 – п. Кыйлуд, 9 – п. Нылга, 10 – с. Большой Жужгес; р. Позимь (приток третьего порядка): 11 – г. Ижевск.

Наши исследования были дополнены анализом проб молоди рыб из коллекции лаборатории популяционной экологии ИЭВБ РАН, отобранными из Куйбышевского водохранилища в 1983-1986 гг. Видовую принадлежность и стадии развития личинок и мальков рыб устанавливали по определителю А.Ф. Коблицкой (1981).

К сожалению, патологоморфологический метод обладает некоторыми недостатками. Для оценки морфологических, морфофизиологических и патологоанатомических показателей используются, как правило, взрослые рыбы. Поэтому ряд морфологических аномалий (нарушения в окраске тела, печени, полостного жира) связан с уровнем токсичности воды и может проявляться только лишь в отдельные сезоны года. Так, например, лещ из Куйбышевского водохранилища имеет ненормальную окраску печени только в летний период в момент сильного развития сине-зеленых водорослей (Евланов и др., 1996). Кроме того, многие морфологические аномалии являются летальными для рыб на ранних этапах развития и поэтому не регистрируются у взрослых особей. Следует отметить, что широкое применение этот метод нашел при исследовании аномалий у рыб, относящихся к арктическому комплексу (Моисеенко и др., 1991; Решетников, 1994; Решетников, Попова, 1997), которые являются наиболее требовательными к качеству абиотических факторов среды. В то же время взрослые особи карповых менее чувствительны к изменениям данных факторов, и использование данного подхода не всегда адекватно характеризуют реальную картину экологического состояния водоема.

Для анализа зависимости встречаемости аномальных личинок и мальков рыб от сапробности (трофности) водоемов нами использовались общепринятые характеристики степени загрязненности водоема органическими веществами (Гос. доклад ..., 2012), соответствующие критериям трофической классификации водоемов (Tayler et al., 1980). Класс качества исследованных участков водоемов по гидробиологическим показателям устанавливался на основе индексов сапробности по

фитопланктону, зоопланктону и перифитону (Гос. доклад ..., 1997, 2000, 2001, 2009, 2012).

На предмет морфологических аномалий были обследованы 6223 половозрелых особи 12 аборигенных и чужеродных видов рыб из Саратовского водохранилища. Возраст половозрелых особей – по чешуе и отолитам (Правдин, 1966). Однако патологоморфологическое изучение половозрелых рыб не позволило достоверно оценить их состояние, поэтому основными методами изучения морфофизиологических отклонений у взрослых рыб стали патологоанатомические, гематологические и гистологические методы. Именно они позволили адекватно охарактеризовать состояние здоровья отдельных особей и популяций рыб в экологических условиях волжских водоемов и водотоков.

Для гематологических исследований половозрелых рыб вылавливали в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах и их притоках (таблица 3). Сбор научного материала производился в весенне-осенний период 1998–2013 гг. Препараты периферической крови изготавливали на месте вылова рыб, затем фиксировали этанолом и окрашивали по методу Романовского-Гимза. Применяли непрямой метод подсчета форменных элементов крови (Иванова, 1977, 1983) с последующим анализом основных гематологических показателей.

Для оценки неблагоприятных воздействий на организм животных мы вычисляли соотношение нормобластов и зрелых эритроцитов, соотношение эритроцитов и лейкоцитов, а также применяли индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), который является в наших исследованиях одним из основных показателей состояния белой крови (Житенева и др., 1997). Наряду с анализом исследованных гематологических показателей нами осуществлялось изучение патологий клеток эритроцитарного ряда с последующим описанием, классификацией и анализом встречаемости отдельных типов нарушений.

**Таблица 3.** Количество половозрелых рыб из разных водоемов и водотоков, обследованных на отклонения в гематологических параметрах

Водоем	Период исследования	Кол-во обследованных особей, экз.
Куйбышевское водохранилище	1998-2002, 2005 гг.	394
Притоки Куйбышевского водохранилища		
Р. Большой Черемшан	2012 г.	104
р. Ува	2011-2013 гг.	111
р. Нылга	2011-2013 гг.	118
р. Позимь	2012 гг.	106
Саратовское водохранилище	1998-2013 гг.	2309
Притоки Саратовского водохранилища		
Р. Самара	2012, 2013 гг.	112
Р. Съезжая	2013 г.	97
Р. Большой Кинель	2012 г.	111
Общее число обследованных особей, экз.	1998-2013 гг.	3462

Сочетание полученных результатов позволило нам корректно оценить состояние гематологических параметров у рыб из водоемов с разным уровнем антропогенной нагрузки. Однако гематологические анализы характеризуют состояние отдельной особи только в момент вылова и непосредственного отбора крови, так как кровь является наиболее реактивной тканью организма и подверженной быстрым изменениям как в сторону ухудшения, так и в сторону улучшения, в зависимости от быстро изменяющихся условий среды. Поэтому наши исследования были дополнены изучением гистологического состояния внутренних органов – жабр, печени, гонад и миокарда, морфофизиологические изменения которых в условиях негативных внешних воздействий имеют пролонгированный характер.

Для гистологического анализа отбирались органы самок и самцов, как с признаками аномалий, так и лишенные внешних проявлений патологического процесса (таблица 4). Рыба в момент отбора пробы была живой. Отобранные органы сразу же фиксировались для того, чтобы задержать изменения, происходящие в тканях, изолированных от организма, и сохранить картину тканевой структуры, соответствующую исходному

состоянию. Толщина фиксируемого фрагмента органа не превышала 1-1,5 см. В качестве фиксатора мы использовали смесь 40%-го формалина, 96%-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (фиксатор Лилли). Обезвоживание и уплотнение гистологического материала производилось по стандартной методике (Роскин, Левинсон, 1957) в этиловом спирте возрастающей концентрации, смеси 100%-го спирта и бензола, чистом бензоле и парафин-бензоле с последующей заливкой фрагментов в парафин. Серийные гистологические срезы изготавливались на салазочном микротоме МКБ–10, толщина их не превышала 8 микрон. Гистологические срезы окрашивались гематоксилином и эозином по стандартной методике с последующим заключением в канадский бальзам.

**Таблица 4.** Количество половозрелых рыб из разных водоемов и водотоков, обследованных на гистопатологии внутренних органов

Водоем	Период исследования	Кол-во обследованных особей, экз.
Куйбышевское водохранилище	2005 гг.	256
Притоки Куйбышевского водохранилища		
Р. Большой Черемшан	2012 г.	104
р. Ува	2012, 2013 гг.	111
р. Нылга	2012, 2013 гг.	118
р. Позимь	2012 гг.	106
Саратовское водохранилище	2003-2013 гг.	596
Притоки Саратовского водохранилища		
Р. Самара	2012, 2013 гг.	112
Р. Съезжая	2013 г.	97
Р. Большой Кинель	2012 г.	57
Общее число обследованных особей, экз.	2003-2013 гг.	1557

Таким образом, было изготовлено и проанализировано 6232 препарата жабр, печени, гонад и миокарда аборигенных и чужеродных видов рыб.

При помощи гистологического метода исследования нами произведено изучение основных типов морфологических аномалий молоди рыб. Для этого изготовлено и обработано 68 серийных препаратов нарушений морфологии

глаз, челюстей, миотомов, пигментированных и непигментированных новообразований у молоди рыб разных возрастных групп.

Для определения степени поражения организмов рыб, являющейся важным аспектом диагностики здоровья особей в зоне загрязнения, нами применялся *общий индекс заболеваний рыб* –  $Z$  (Моисеенко и др., 2010), разработанный на основе обобщения различных балльных систем, предложенных ранее (Аршаница, 1988; Решетников, 1994; Моисеенко, 1997) для оценки состояния организма рыб на основе клинического и патологоанатомического обследования. При макродиагностике состояния рыб предлагается выделять 3 стадии заболевания (по: Моисеенко и др., 2010) (0 – здоровые особи):

1 – отклонения от нормы незначительные и не представляют угрозы для жизни организма;

2 – отклонения средней тяжести, характеризующие критическое состояние организма;

3 – ярко выраженные симптомы интоксикации, свидетельствующие о неизбежной гибели организма.

Общий индекс заболеваний рыб в конкретной зоне загрязнения определяется выражением:

$$Z=(1N_1+2N_2+3N_3) / \Sigma N_{tot}.$$

где  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  – соответственно число особей на 1-й, 2-й и 3-й стадиях заболеваний,  $N_{tot}$  – общее количество исследованных рыб в локальной зоне загрязнения, включая здоровых особей, а усиливающие коэффициенты (1, 2 и 3) отражают степень тяжести интоксикации. Если в водоеме все рыбы не имеют признаков токсикозов, то  $Z=0$ . Значение будет повышаться как при увеличении числа больных, так и при повышении тяжести заболевания (Там же).

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 морфофизиологическим признакам рыб составлялись с применением метода кластерного анализа по Брею-Кёртису (Шитиков и др., 2003). Для графической иллюстрации результатов использовали программы: Excel 2010, Statistica 12, Adobe Photoshop CS6, Paint.



### Глава 3

## МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОЛОДИ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ

Так как у разных видов рыб (видов с различающейся экологией, разных по пищевым предпочтениям, по нерестовым субстратам, срокам нереста, и т.д.), к каким относятся исследованные нами массовые виды рыб волжских водоемов, проявляются аналогичные реакции на воздействие неблагоприятных факторов среды, то их можно отнести к неспецифическим. Подтверждением неспецифичности обнаруживаемых у рыб разных видов морфофизиологических нарушений является и факт фиксации одинаковых типов морфологических аномалий, гистопатологий внутренних органов и тканей, гематологических нарушений в водоемах и водотоках с различающимся гидрологическим режимом, какими являются волжские водохранилища и их притоки, но с присутствующим в воде комплексом загрязнителей.

На основе анализа достаточно разрозненных литературных данных и проведенных нами исследований можно дать следующее определение неспецифическим реакциям, обнаруженным у волжских рыб. **Неспецифические реакции** – комплекс последовательных аналогичных морфофизиологических нарушений, возникающих на разных уровнях организации (клеточном, тканевом, органном и организменном) у особей разных видов и экологических групп при комплексном воздействии неблагоприятных факторов среды (загрязнений) и не зависящий от сочетания других естественных абиотических факторов.

Большинство обнаруженных морфофизиологических нарушений имеют необратимый характер и в большинстве случаев приводят к

элиминации особей. К таким нарушениям относятся практически все морфологические аномалии, обнаруженные у молоди рыб, рассмотренные в данной главе, а также гистопатологии внутренних органов (жабр, печени, гонад и миокарда), патологии эритроцитов и некоторые крайние патологические проявления нарушений основных гематологических параметров, анализ которых будет приведен в последующих главах.

Именно возникновение у особей под воздействием комплекса загрязняющих веществ различных неспецифических морфофизиологических нарушений делает их достоверным показателем в исследованиях морфофизиологического состояния рыб. Так как в большинстве волжских водоемов в той или иной степени постоянно присутствуют загрязняющие вещества, неизбежно оказывающие отрицательное воздействие на рыб, прежде всего на молодь, то изучение неспецифических реакций, возникающих у рыб под воздействием загрязнений, приобретает особую актуальность.

Период эмбрионально-личиночного развития является наиболее чувствительным этапом в онтогенезе рыб не только к действию абиотических факторов естественного характера (температура воды, содержание кислорода, величина рН, скорость течения, освещенность и т.п.), но и влиянию различных токсических веществ. В целом ряде экспериментальных работ (Привольнев, 1947; Жукинский, 1986; Касимов, Крючков, 1988; Лебедева и др., 1990; Щурова, 1990; Макеева, 1992; Nylland et al., 2003; и др.) выявлены различные нарушения у личинок рыб, как под влиянием отдельных абиотических факторов среды, так и различных загрязнителей.

У рыб в процессе эмбриогенеза и на стадиях личиночного развития в условиях кратковременного, либо хронического, токсического воздействия происходят такие же биохимические изменения, как и у половозрелых особей. Установлено, что у личинок атерины (*Atherina hepsetus* L.) из наиболее загрязненных акваторий Черного моря происходит увеличение активности антиоксидантных ферментов и гетерогенности

электрофоретических белков (Руднева, Залевская, 2004), что можно считать неспецифическими адаптивными реакциями, направленными на нейтрализацию процессов интоксикации. В силу того, что эмбриональные и личиночные стадии развития молоди рыб являются очень чувствительными к воздействию даже незначительных сублетальных концентраций токсикантов, адаптационные процессы с течением времени стремительно преобразуются в патологические, что вызывает различные нарушения морфологии и гибель особей. Быстрота данных реакций объясняется еще и повышенной скоростью естественных биохимических обменных процессов в организмах на ранних стадиях эмбрионального и личиночного развития.

На примере личинок и мальков рыб дельты Волги показано, что токсический фон нерестилищ оказывает на морфогенез молоди неспецифическое деформирующее действие, сила влияния которого в общем комплексе неблагоприятных факторов соответствует 29–84% (Попов и др., 2001). На нерестилищах дельты Волги ежегодно наблюдается 28,1–63,29% предличинок фитофильных рыб (этапы развития А и В) с разнообразными нарушениями морфогенеза. Независимо от характера этих аномалий к моменту перехода личинок на этапы  $C_2$ – $D_1$  до 97,5% дефектные особи элиминируют (Там же). Элиминация личинок массовых видов (вобла, лещ, карась и др.), обусловленная воздействием фоновой токсичности нерестилищ (сумма превышений ПДК приоритетных загрязнителей равна 8–12), в среднем составляла 5,0–7,8%. А усиление токсической нагрузки (сумма ПДК – 25–30) увеличивало данный показатель до 21,4–38,0% (Там же).

Анализируя многочисленные экспериментальные работы (Urho, Hudd, 1989; Crawford, Guarine, 1985; Richmonds, Dutta, 1989; Pragatheeswaran et al., 1987, 1989; Beckman, Zaugg, 1988; и др.) можно говорить о том, что под влиянием различных по происхождению загрязнителей (сырая нефть, пестициды, тяжелые металлы и т.п.) у рыб обнаруживаются одни и те же виды аномалий развития, что так же свидетельствует о неспецифическом характере данных нарушений.

В настоящее время морфологические аномалии<sup>1</sup> широко распространены как у молоди, так и взрослых рыб из водоемов с разным уровнем антропогенной нагрузки. Их наличие свидетельствует о неблагоприятном состоянии популяции, вызванным ухудшением качества водной среды (Решетников, 1988; Савваитова и др., 1995а, б; Евланов и др., 1997, 1999, 2000; Минеев и др., 1997, 1998; Павлов и др., 1999; Акимова и др., 2004; Минеев, 2012в, 2013г; и др.).

### **3.1. Классификация морфологических аномалий молоди рыб**

За период исследований 1995-2014 гг. у молоди рыб из различных водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги нами обнаружено 73 типа нарушений морфологии, которые поражают практически все жизненно важные органы. Все аномалии нами объединены в 8 групп и систематизированы следующим образом:

- 1) нарушения морфологии глаз;
- 2) нарушения морфологии головы;
- 3) нарушения морфологии плавников;
- 4) нарушения морфологии туловища;
- 5) нарушения в топографии внутренних органов;
- 6) пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела;
- 7) непигментированные опухоли наружной локализации;
- 8) нарушения в строении мышечной ткани.

В виду того, что ранее нами было дано неполное их описание (Евланов, Минеев, Розенберг, 1999, 2000; Минеев, Евланов, 2000), считаем необходимым привести подробную характеристику обнаруженных аномалий.

---

<sup>1</sup> В биологии и медицине термин аномалия (от греч. *anomalía* - отклонение) применяется для обозначения результатов отклонения от нормального развития, т.е. возникновения нетипичного строения и деятельности органов или всего организма. К аномалиям развития относят уродства (стойкие отклонения организма или его частей от нормального анатомического строения, развивающиеся в эмбриональный период). В связи с этим, мы считаем возможность использования в данной работе как этих терминов, так и термина дефект – изъян, недостаток (см.: [www.dic.academi.ru](http://www.dic.academi.ru)).

Иллюстрации сгруппированы нами в соответствии с этим делением. Однако так как у большинства особей обнаруживается одновременное присутствие нескольких аномалий развития, то на фотоснимках и подписях к ним указаны и другие нарушения, не относящиеся к конкретным обсуждаемым в данном разделе типам.

### **1 группа. Аномалии морфологии глаз**

Эти уродства затрагивают внешнее или внутреннее строение глазных яблок молодых рыб (рисунки 6–10).

1.1. Недоразвитие одного глазного яблока (рисунки 6.1а, 10.3б). Эта аномалия выражается в том, что размеры такого глаза несколько меньше нормы, он может иметь неправильную форму. Данный дефект может иметь разную степень выраженности от едва заметного недоразвития до почти полного отсутствия глазного яблока (рисунок 19.3а). На рисунках 7.1а и 7.2а представлена гистологическая картина подобных нарушений.

1.2. Недоразвитие обоих глазных яблок выражается в том, что оба глаза по размерам меньше нормы. Форма глазных яблок также может быть нарушена (рисунок 12.3в).

1.3. Отсутствие одного глазного яблока (рисунок 6.2а). Следует отличать от механической потери глаза. При врожденном отсутствии глаза глазница недоразвита и часто зарастает покровной тканью. Второй глаз при этом может быть абсолютно здоровым. Гистологическая картина подобного нарушения представлена на рисунке 7.3б.

1.4. Отсутствие обоих глазных яблок (рисунки 6.3а, 11.3б). У личинки нет обоих глаз.

1.5. Опухоль в одном глазном яблоке (рисунок 6.4а). Одно из глазных яблок увеличено в размере и имеет неправильную форму из-за того, что в нем присутствует опухолевидное образование.

1.6. Опухоли в обоих глазных яблоках (рисунок 6.5а). Гистологическая картина подобного нарушения представлена на рисунке 7.4а.

1.7. Смещение хрусталика от нормального положения в одном глазном яблоке (рисунок 6.6а) Хрусталик, имеющий нормальную форму и размеры, находится не в центре глазного яблока, а смещен к его периферии.

1.8. Смещение хрусталика в обоих глазных яблоках (рисунки 8.1а, 8.2а). Подобные морфологические нарушения зачастую сопровождаются недоразвитием глазного яблока и наличием новообразований (рисунки 8.1б, 8.2б).

1.9. Деформация хрусталика в одном глазном яблоке (рисунок 8.3б). Хрусталик, в отличие от нормальной шарообразной формы и размера, имеет неправильную, деформированную форму, сморщенную замутненную структуру.

1.10. Деформация хрусталиков в обоих глазных яблоках.

1.11. Раздвоение хрусталика в одном глазном яблоке. В глазном яблоке по размерам и форме соответствующем норме, либо в недоразвитом глазном яблоке (рисунок 8.4в), имеется два хрусталика. Такие хрусталики могут быть вполне развитыми и иметь правильную шарообразную форму (рисунок 8.4а,б).

1.12. Раздвоение одного глазного яблока (рисунок 8.5а,б). С одной стороны головы находится либо два обособленных глазных яблока нормальных по форме и строению, но по размерам меньше нормы, либо одно глазное яблоко, имеющее перетяжку и по одному хрусталику в каждой полу обособленной части. С другой стороны головы находится нормальное глазное яблоко.

1.13. Раздвоение обоих глазных яблок (рисунок 8.6а,б).

1.14. Разделение одного глазного яблока на три части (рисунок 9.1а,б,в). Аномалия аналогичная предыдущей с тем лишь отличием, что глазное яблоко имеет не одну перетяжку, а две, делящих глаз на три части с обособленным хрусталиком в каждой. Подобная аномалия сразу для обоих глазных яблок у одной особи нами не встречена.

1.15. Два обособленных глазных яблока с одной стороны головы (рисунок 9.2а,б), при наличие одного нормального глазного яблока с другой стороны. Оба глазных яблока с одной стороны головы могут быть развиты в разной степени, но в обоих присутствует по одному обособленному хрусталику.

1.16. По два оформленных глазных яблока с каждой стороны головы. Глазные яблоки, как и в предыдущем случае, по размерам меньше нормы, и имеют неправильную форму. Данная аномалия встречена единично.

1.17. Нестандартная локализация дополнительного недоразвитого глазного яблока. Кроме двух нормальных глаз особь имеет дополнительное глазное яблоко, имеющее, в свою очередь, оформленный хрусталик и склеру. Однако дополнительный глаз недоразвит и имеет размер меньше обычного. Зафиксировано всего два случая обнаружения личинок рыб с такой аномалией в Саратовском водохранилище в районе Балаковской АЭС. В первом случае дополнительный глаз был локализован на нижней челюсти между жаберных крышек в левой задней части головы, во втором – в районе левого грудного плавника. Третий случай был зафиксирован в Кольцово-Мордовинской пойме Саратовского водохранилища, дополнительный недоразвитый глаз располагался в теменной области головы (рисунок 9.3а).

1.18. Отслоение эпителия, покрывающего одно глазное яблоко. Между стекловидным телом глазного яблока и его эпителием имеется полость, заполненная жидкостью.

1.19. Отслоение эпителия, покрывающего оба глазных яблока (рисунки 9.4а,б,в).

1.20. Смещение зрительной оси одного глазного яблока. Оба глазных яблока имеют нормальную форму, размеры и место локализации. Однако, один глаз как бы вывернут в глазнице таким образом, что его зрительная ось сильно смещена (рисунок 9.5а).

1.21. Нарушение пигментации одного глазного яблока (рисунок 9.6а). На глазном яблоке присутствуют участки, лишенные пигмента, что не соответствует норме.

1.22. В редких случаях пигментация отсутствует полностью (рисунок 10.1а).

1.23. Циклопия (рисунок 10.2а). Данная аномалия выражается в том, что у личинки присутствует только один глаз, часто недоразвитый. Располагается он по центру головы, в том месте, где у нормальной особи межглазничное пространство.

## **2 группа. Аномалии морфологии головы**

Эти уродства затрагивают нарушения в морфологии головы и различные дефекты в строении жаберных крышек, челюстей (рисунки 11, 12).

2.1. Недоразвитие одной жаберной крышки (рисунок 11.1а,б). Жаберная крышка по размерам меньше нормальной, в результате чего некоторые жаберные дуги постоянно остаются открытыми. При этом она может иметь неправильную форму и сморщенный рельеф.

2.2. Недоразвитие обеих жаберных крышек характеризуется неправильной формой и аномально малыми размерами этих органов с обеих сторон тела.

2.3. Искривление одной жаберной крышки (рисунок 11.2а). Жаберная крышка с одной стороны головы имеет нормальные размеры, но, вследствие своего постоянного искривления, жаберные дуги остаются открытыми.

2.4. Искривление обеих жаберных крышек.

2.5. Отсутствие одной жаберной крышки (рисунок 11.3а). Жаберной крышки нет совсем, жаберные дуги обнажены полностью.

2.6. Полное отсутствие обеих жаберных крышек (рисунки 12.3а, 12.4). Жаберных крышек нет с обеих сторон головы.



2.7. Искривление верхней челюсти (рисунок 11.4а). Верхняя челюсть имеет заметную постоянную деформацию, в результате чего ротовое отверстие постоянно приоткрыто.

2.8. Искривление нижней челюсти (рисунки 11.4б, 11.5а). Ротовое отверстие постоянно приоткрыто в результате заметной деформации нижней челюсти.

2.9. Недоразвитие верхней челюсти (рисунки 11.6а, 11.3г). Верхняя челюсть при этом по размеру значительно меньше нормы, что является причиной того, что ротовое отверстие постоянно широко открыто.

2.10. Недоразвитие нижней челюсти (рисунки 11.6б, 12.3г). Ротовое отверстие постоянно широко открыто из-за того, что нижняя челюсть по размерам и форме не соответствует норме.

2.11. “Мопсовидная” деформация головы (рисунок 12.1а). Данная аномалия выражается в том, что рыло заметно короче нормы. При этом челюсти не имеют заметных отклонений от нормы.

2.12. Дорзо-вентральное уплощение головы (рисунок 12.2а). Голова личинки при этом напоминает утиный клюв, то есть является деформированной в спинно-брюшной плоскости.

2.13. Асимметрия головы (рисунки 12.3). Данная аномалия выражается в неравномерном развитии правой и левой частей головы. В результате один глаз оказывается ниже или дальше другого.

2.14. Общее недоразвитие головы (рисунок 12.4а). Выражается она в полном отсутствии на деформированной голове обоих глаз, обеих жаберных крышек, иногда и самих жабр.

### **3 группа. Аномалии морфологии плавников**

Эта группа морфологических отклонений включает в себя различные аномалии плавников, их деформации, недоразвитие и отсутствие (рисунки 13–15).

3.1. Недоразвитие одного грудного плавника (рисунок 13.1а). Может выражаться в недоразвитии либо полном отсутствии лучей на одном грудном плавнике, а также в их сильном искривлении.

3.2. Недоразвитие обоих грудных плавников.

3.3. Отсутствие одного грудного плавника (рисунки 13.2а, 16.1б, 19.3в). Выражается в полном отсутствии одного грудного плавника и является врождённой. Следует отличать от механической потери здорового плавника, в результате которой остаётся характерный след.

3.4. Отсутствие обоих грудных плавников. Данная аномалия встречается достаточно редко.

3.5. Недоразвитие одного брюшного плавника (рисунок 13.4б). Данная аномалия была описана нами также и для взрослых рыб. Один из брюшных плавников имеет размеры меньше стандартных за счёт недоразвития или искривления лучей.

3.6. Недоразвитие обоих брюшных плавников (рисунок 13.3а).

3.7. Отсутствие одного брюшного плавника (рисунок 13.4а). Особь имеет только один нормально развитый брюшной плавник, в то время как второй отсутствует полностью. Следует отличать от механической потери в результате травмы. В данном случае на месте отсутствующего плавника видны нарушения эпителия и брюшной стенки.

3.8. Отсутствие обоих брюшных плавников.

3.9. Недоразвитие анального плавника (рисунок 13.5а). Частично отсутствуют, искривлены или недоразвиты лучи анального плавника.

3.10. Недоразвитие спинного плавника (рисунки 13.5б, 13.6а). Частично отсутствуют, искривлены или недоразвиты лучи спинного плавника.

3.11. Недоразвитие одной из лопастей хвостового плавника (рисунки 14.1а, 14.2а). Лучи верхней и нижней лопастей хвостового плавника развиты неравномерно, либо совсем отсутствуют, как в случае рисунка 14.2а. Количество лучей в одной из лопастей может несоответствовать норме.

3.12. Недоразвитие хвостового плавника (рисунок 14.3а). Это уродство выражается в недоразвитии либо закладки хвостового плавника, либо одной из его лопастей, либо в частичном отсутствии или искривлении его лучей.

3.13. Дополнительная лопасть в хвостовом плавнике (рисунок 14.4а). Наблюдается дополнительная верхняя лопасть в хвостовом плавнике, сформированная некоторым количеством развитых костных лучей. Основание дополнительной лопасти расположено в месте расположения слабопигментированного новообразования. Данная аномалия обнаружена единично.

3.14. Наличие дополнительных брюшных плавников (рисунок 14.5а). Обнаружено два недоразвитых брюшных плавника, костяные лучи которых были вполне сформированы. Располагались дополнительные плавники между нормальными брюшными плавниками и парой грудных плавников.

3.15. Наличие дополнительной закладки спинного плавника (рисунок 14.6б). Обнаружена дополнительная закладка спинного плавника с начинающимися формироваться мезенхимными лучами. У карповых рыб в норме должен быть только один спинной плавник, в этом случае наличие дополнительной закладки является аномалией.

3.16. Раздвоение одного грудного плавника (рисунок 15.1а). В данном случае лучи на одном грудном плавнике располагаются в два ряда. В каждом ряду лучи соединены межлучевой мембраной, как в нормальном плавнике. Данная аномалия в крайнем проявлении представляет собой наличие двух грудных плавников с одной стороны тела и одного – с другой.

3.17. Расчленение одного грудного плавника на три части. Данная аномалия отличается от предыдущей только по количественному признаку.

3.18. Расчленение одного из брюшных плавников на три части (рисунок 15.2б,в).

3.19. Дополнительные выросты плавниковой каймы (рисунки 15.3а, 15.4а). Плавниковая кайма имеет дополнительные выросты не характерные

для состояния нормы. Возможно, подобные образования возникают в местах последующих закладок дополнительных аномальных плавников.

3.20. Отсутствие хвостового плавника (рисунок 15.5а). Это очень редкая аномалия, встречается только у предличинки на стадиях А и В. Выражается она в полном врождённом отсутствии закладки хвостового плавника.

#### **4 группа. Аномалии морфологии туловища**

В данную группу аномалий включены искривления хорды различной степени тяжести и недоразвитие хвостового отдела тела (рисунок 16).

4.1. Слабая степень искривления хорды (рисунок 16.1а). Данное уродство выражается в незначительной вертикальной или горизонтальной деформации хорды.

4.2. Средняя степень искривление хорды (рисунки 16.2, 16.3а). Искривления хорды, так называемые горбы, более выражены, чем в предыдущем случае. Подобные нарушения могут наблюдаться одновременно в туловищном и хвостовом отделах тела (рисунок 16.3а,б).

4.3. Сильное искривление хорды (рисунки 16.4а, 16.5а). Деформации носят ярко выраженный характер, их может быть несколько. Зачастую подобные нарушения возникают в местах локализации различных новообразований (рисунок 16.4б). Искривления могут проявляться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости (рисунок 16.5а,б).

4.4. Недоразвитие хвостового отдела тела (рисунок 16.6а). При нормально развитом туловищном отделе тела, хвостовой отдел выглядит укороченным из-за слабого развития хорды и миотомов. В результате личинка выглядит непропорциональной.

#### **5 группа. Аномалии внутреннего строения**

К этой группе относятся аномалии, затрагивающие внутреннее строение органов и тканей и обнаруживающиеся у личинок рыб визуально

ввиду прозрачности их тела.

5.1. Нарушение внутреннего строения головы (рисунок 17.1б). Внутри головы явно просматривается некоторая полость, которая у нормально развитых особей отсутствует. Визуально наблюдаются нарушения в строении костей черепа, их расположении не соответствующем норме.

5.2. Тройной плавательный пузырь (рисунок 17.2а). Плавательный пузырь имеет три отделения вместо нормальных двух. Данная аномалия встречена единично.

## **6 группа. Пигментированные опухоли и аномалии в характере пигментации тела**

На теле личинок рыб и мальков в норме всегда присутствует видоспецифичный пигментный рисунок. К данной группе аномалий относятся различные нарушения расположения пигмента на теле личинок рыб (рисунок 18).

6.1. Пигментированное образование около одного глазного яблока (рисунок 18.1а). В непосредственной близости от глазного яблока или в прямом контакте с ним присутствует чёрное пигментное образование, размер которого может варьировать.

6.2. Пигментированные образования около обоих глазных яблок. Данная аномалия отличается от предыдущего морфологического нарушения только по количественному проявлению (рисунок 18.2а). Пигменты располагаются около обоих глазных яблок, а также подобные образования могут быть множественными.

6.3. Нарушение видоспецифичного пигментного рисунка на покровах тела (рисунки 16.6б,в; 18.3а). При этой аномалии нарушается размер, форма и порядок расположения пигментных клеток. Это приводит к нарушению видоспецифичного пигментного рисунка, являющегося классификационным признаком. Подобные нарушения могут локализоваться в любой части тела (рисунки 18.3а,б; 18.4а,б)

## **7 группа. Аномалии, связанные с наличием непигментированных опухолей наружной локализации**

Эти аномалии связаны с обнаружением непигментированных опухолей на поверхности тела рыб.

7.1. Непигментированная опухоль около одного глазного яблока (рисунки 6.2б, 19.1а, 19.2а). Наиболее частым местом локализации новообразований такого вида является область вокруг глаз.

7.2. Две и более непигментированных опухоли в области глазных яблок. Часто непигментированные новообразования сопровождаются пигментированными и слабопигментированными опухолями (рисунки 19.1б, 19.2б).

7.3. Непигментированные новообразования в туловищном отделе тела (рисунок 19.3г). В туловищном отделе тела белые опухоли локализуются гораздо реже, чем в области глаз.

## **8 группа. Аномалии в строении мышечной ткани**

Данная группа морфологических нарушений включает в себя все отклонения от нормы, обнаруженные в миотомах молоди рыб. Данные нарушения можно считать проявлениями какого-либо патологического процесса в организме отдельной особи.

8.1. Пигментированные новообразования в миотомах тела (рисунки 20.1а, 20.2а). Данные нарушения могут быть локализованы внутри миотомов любой части тела, могут быть множественными и в разной степени выраженными (рисунки 20.3б,в). В отличие от наружных нарушений пигментации, эта аномалия затрагивает внутреннее строение мышечной ткани (рисунки 21.1–21.4).

8.2. Непигментированные новообразования внутри миотомов (рисунки 20.4б, 20.5б). Данное нарушение встречается редко. Мы рассматриваем его

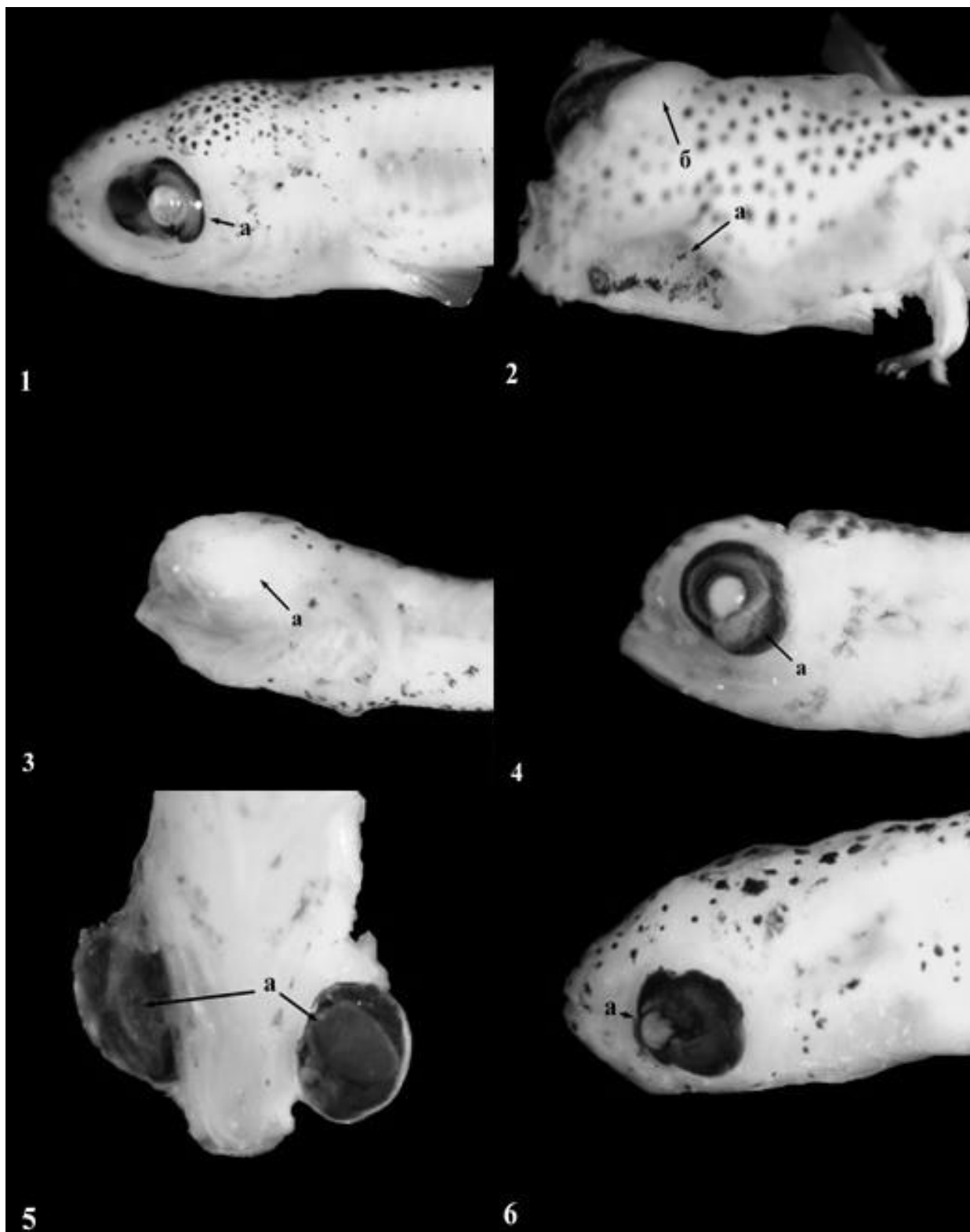
как начальную стадию дисплазии или некроза миотомов. Гистологическая структура таких новообразований приведена на рисунке 22.

8.3. Некроз миотомов (рисунок 20.6а). Выражается данное нарушение в очагах разрушения мышечной ткани разного размера и локализации.

8.4. Дефект миотома (рисунок 20.6б). Миотом является недоразвитым и как бы вклинивается между двумя здоровыми соседними миотомами (рисунок 21.2б).

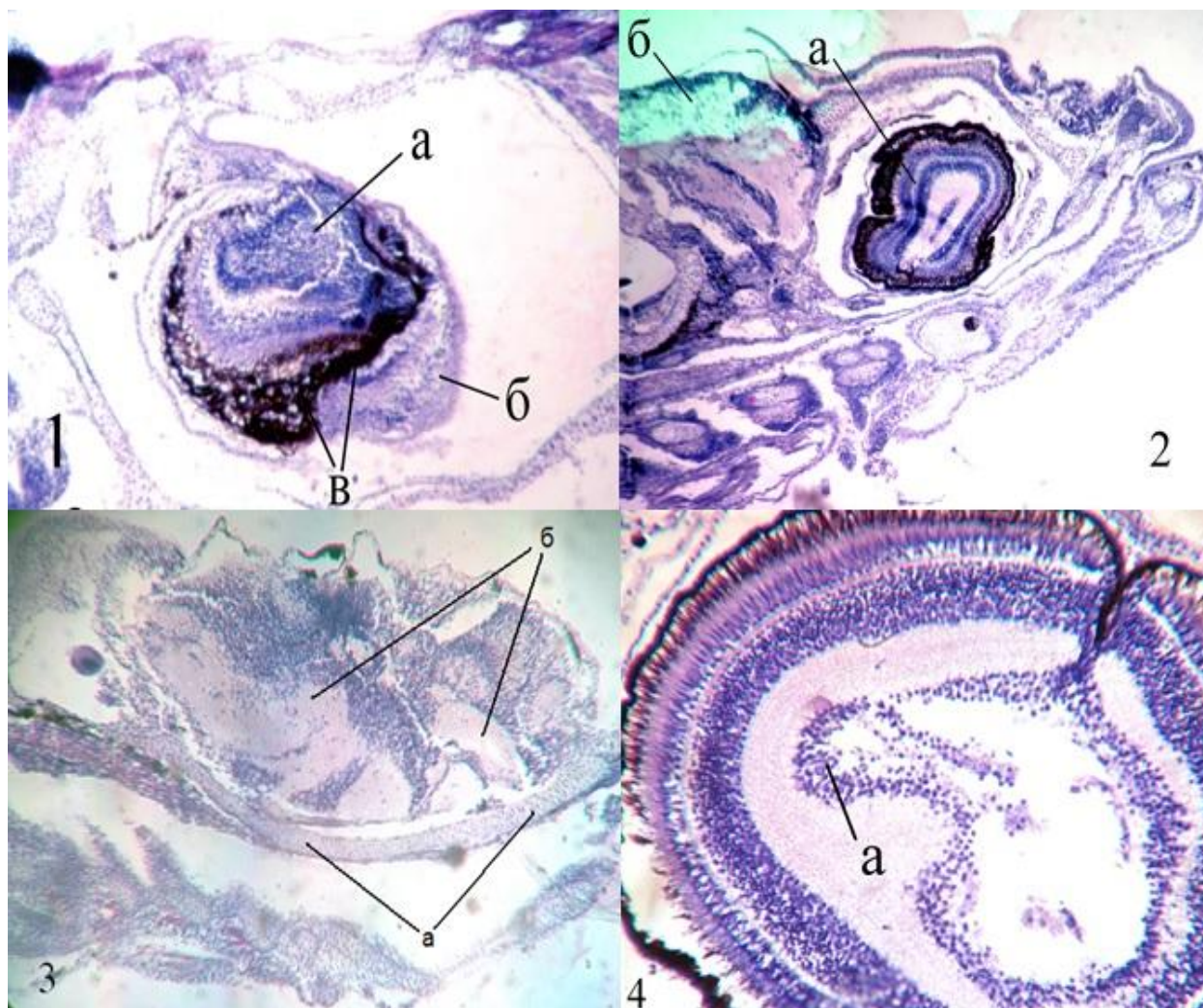
Приведенный материал свидетельствует о том, что у молоди рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги обнаруживаются многочисленные аномалии в развитии. Появление этих нарушений следует рассматривать как ответную реакцию организма на качество водных масс, которые оказывают отрицательное влияние на процессы эмбриогенеза, когда происходит закладка программы формирования будущих морфологических признаков. Однако непосредственные процессы формирования основных морфологических признаков в процессе последующего личиночного развития также могут быть подвержены отрицательному влиянию комплекса загрязнений, в результате чего возникают необратимые морфологические нарушения не заложенные в процессе эмбриогенеза: различные новообразования (различной степени локализации и пигментации) и некрозы тканей. При воздействии поллютантов подобные морфологические аномалии могут возникать у молоди рыб на поздних стадиях личиночного и малькового развития, даже если данные особи не проявляли каких-либо морфофизиологических нарушений на ранних стадиях, но количество таких рыб на заключительных стадиях малькового развития невелико.

Несмотря на то, что общее количество и разнообразие обнаруженных морфологических аномалий велико (73 типа), мы отдаем себе отчет в том, что у молоди рыб могут быть отмечены и другие типы аномалий, не зарегистрированные нами.

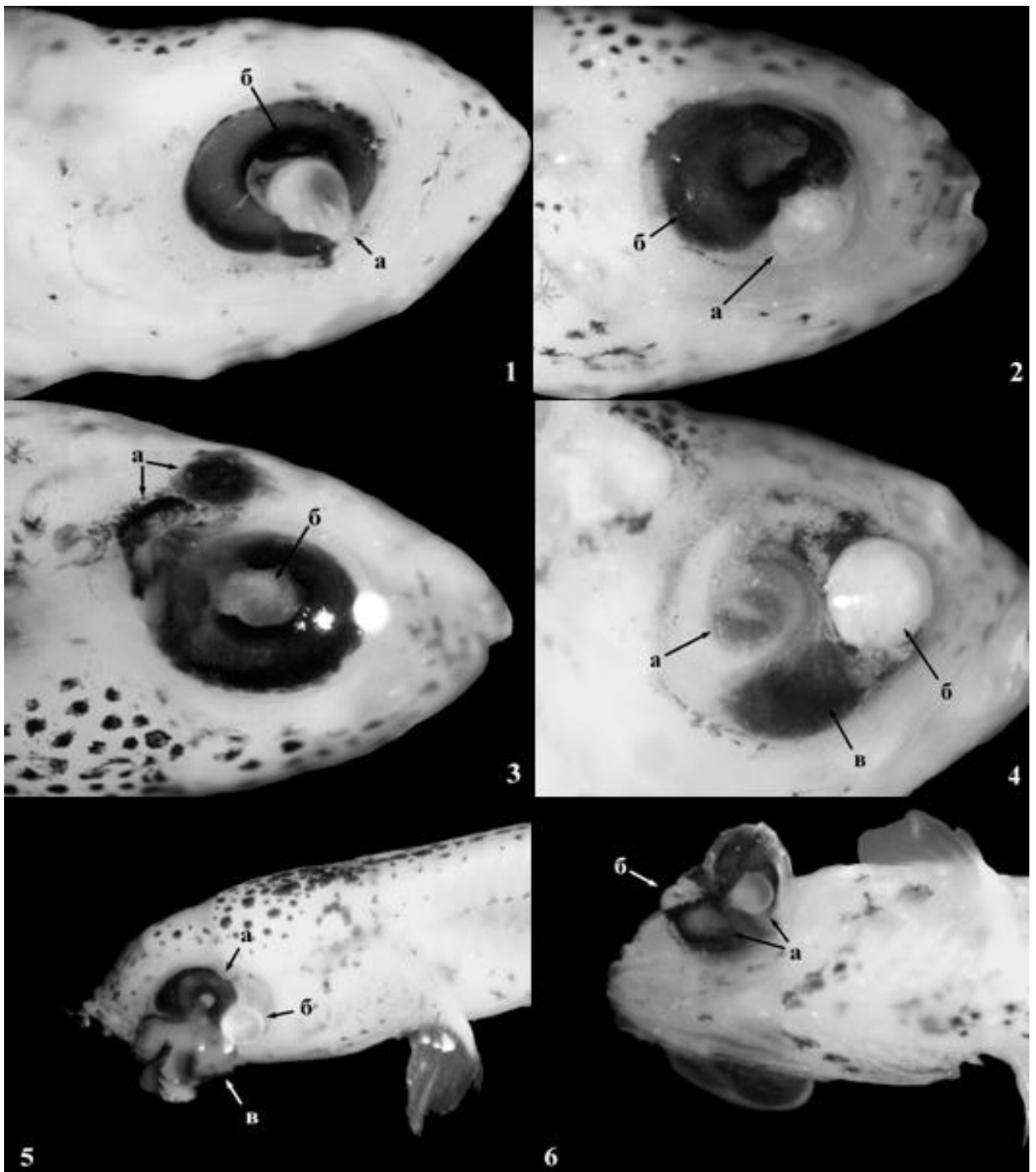


**Рисунок 6.** Нарушения морфологии глаз. 1 – укляя (E), вид слева ( $\times 32$ ), а – недоразвитие левого глазного яблока; 2 – язь ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – отсутствие левого глазного яблока, б – непигментированная опухоль около правого глазного яблока; 3 – плотва ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – отсутствие обоих глазных яблок; 4 – плотва ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – опухоль внутри левого глазного яблока; 5 – язь ( $C_2$ ), вид снизу ( $\times 32$ ), а – опухоли внутри обоих глазных яблоках; 6 – укляя ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – смещение хрусталика от нормального положения в левом глазном яблоке.

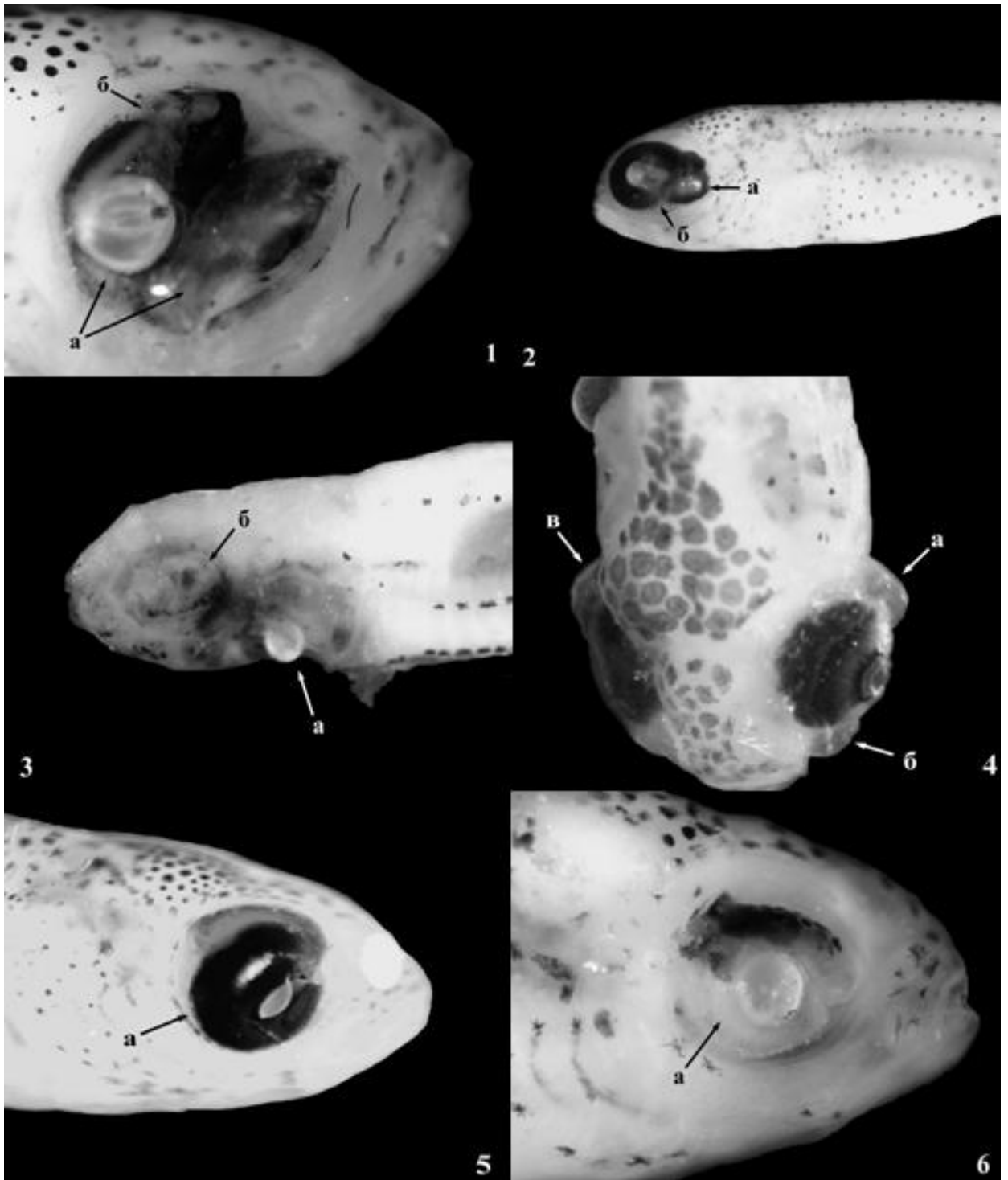




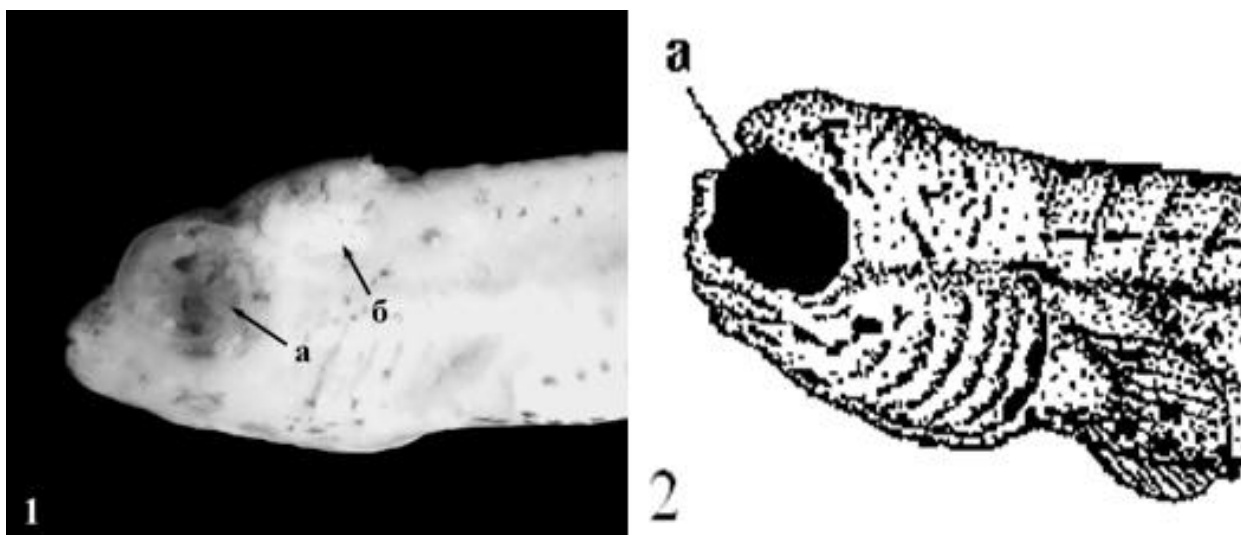
**Рисунок 7.** Гистологическая картина нарушений морфологии глаз. 1 – плотва ( $C_2$ ), вид сбоку ( $\times 50$ ), общее недоразвитие глазного яблока; а – недоразвитое глазное яблоко, б – непигментированная опухоль позади глазного яблока, в – пигментированная опухоль снизу недоразвитого глазного яблока. Хорошо видно, что глазное яблоко по размеру вдвое меньше нормального, поэтому больший объём глазничной полости не заполнен. 2 – язь, ( $C_1$ ), вид сбоку ( $\times 50$ ), а – незначительное, но заметное недоразвитие глазного яблока, клеточные структуры глаза относительно сформированы, но глазное яблоко заметно деформировано и уступает в размерах нормальному, б – непигментированное новообразование около недоразвитого правого глазного яблока; 3 – густера ( $C_2$ ), вид сверху ( $\times 100$ ), отсутствие глазного яблока, глазница заполнена рыхлой пигментированной массой: а – хрящ, образующий полость глазницы, б – рыхлая слабопигментированная ткань; 4 – язь ( $C_2$ ), вид сбоку ( $\times 200$ ), а - опухоль внутри глазного яблока.



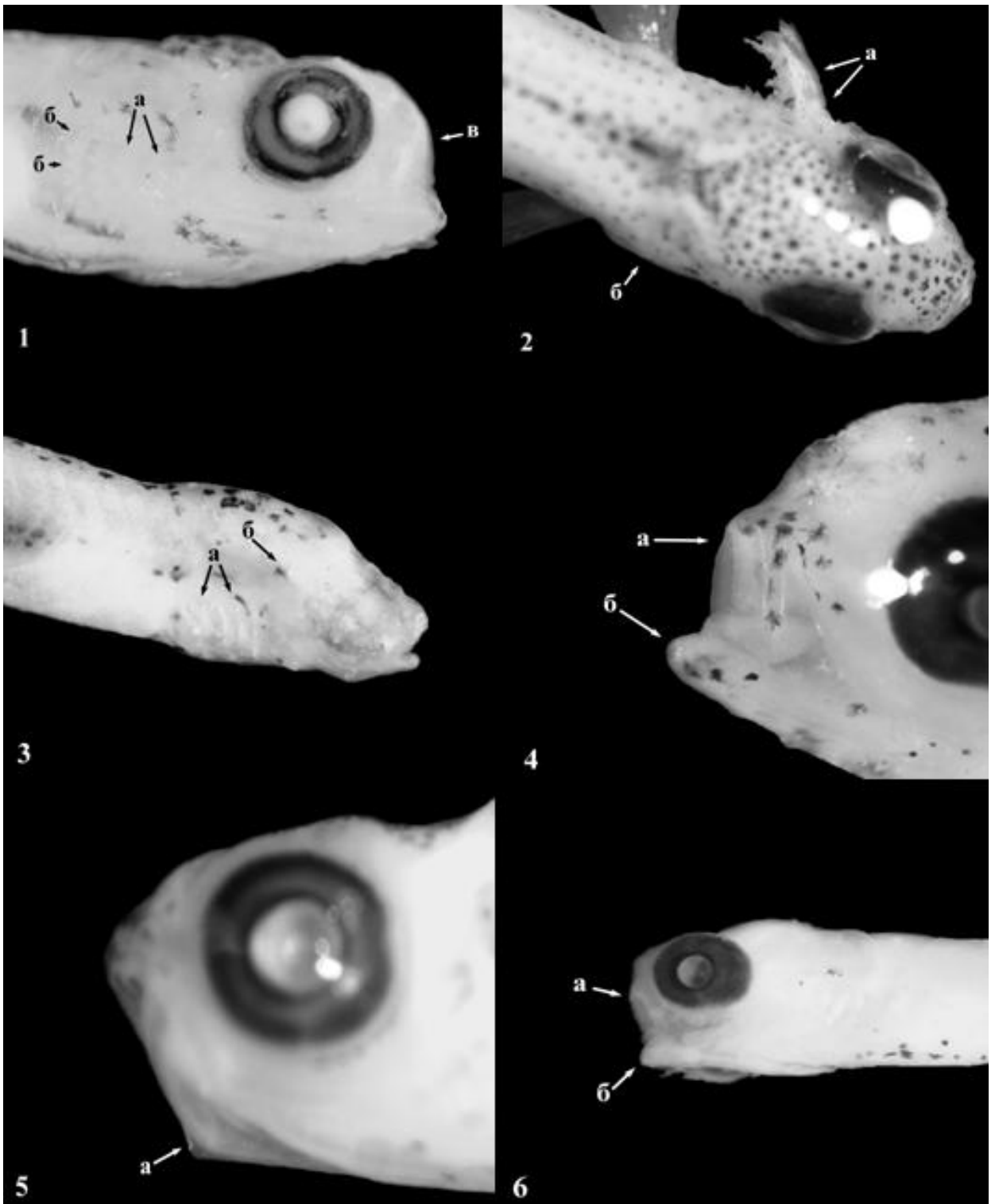
**Рисунок 8.** Нарушения морфологии глаз. 1 – укляя ( $D_2$ ), вид справа ( $\times 56$ ), а – смещение хрусталика от нормального положения в правом глазном яблоке, б – пигментированное новообразование около недоразвитого глазного яблока; 2 – укляя ( $D_2$ ), вид справа ( $\times 56$ ), а – хрусталик находится вне правого глазного яблока, б – недоразвитое глазное яблоко без хрусталика; 3 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 56$ ), а – пигментированные опухоли около левого глаза и на нижней челюсти, б – деформация хрусталика в левом глазном яблоке; 4 – плотва (F), вид справа ( $\times 56$ ), а, б – два хрусталика в правом недоразвитом глазном яблоке (в); 5 – укляя (E), вид слева ( $\times 32$ ), а, б – два соединенных недоразвитых глазных яблока с развитыми хрусталиками, в – пигментированная опухоль; 6 – укляя ( $C_2$ ), вид справа ( $\times 32$ ), а, б – два соединенных недоразвитых глазных яблока с развитыми хрусталиками.



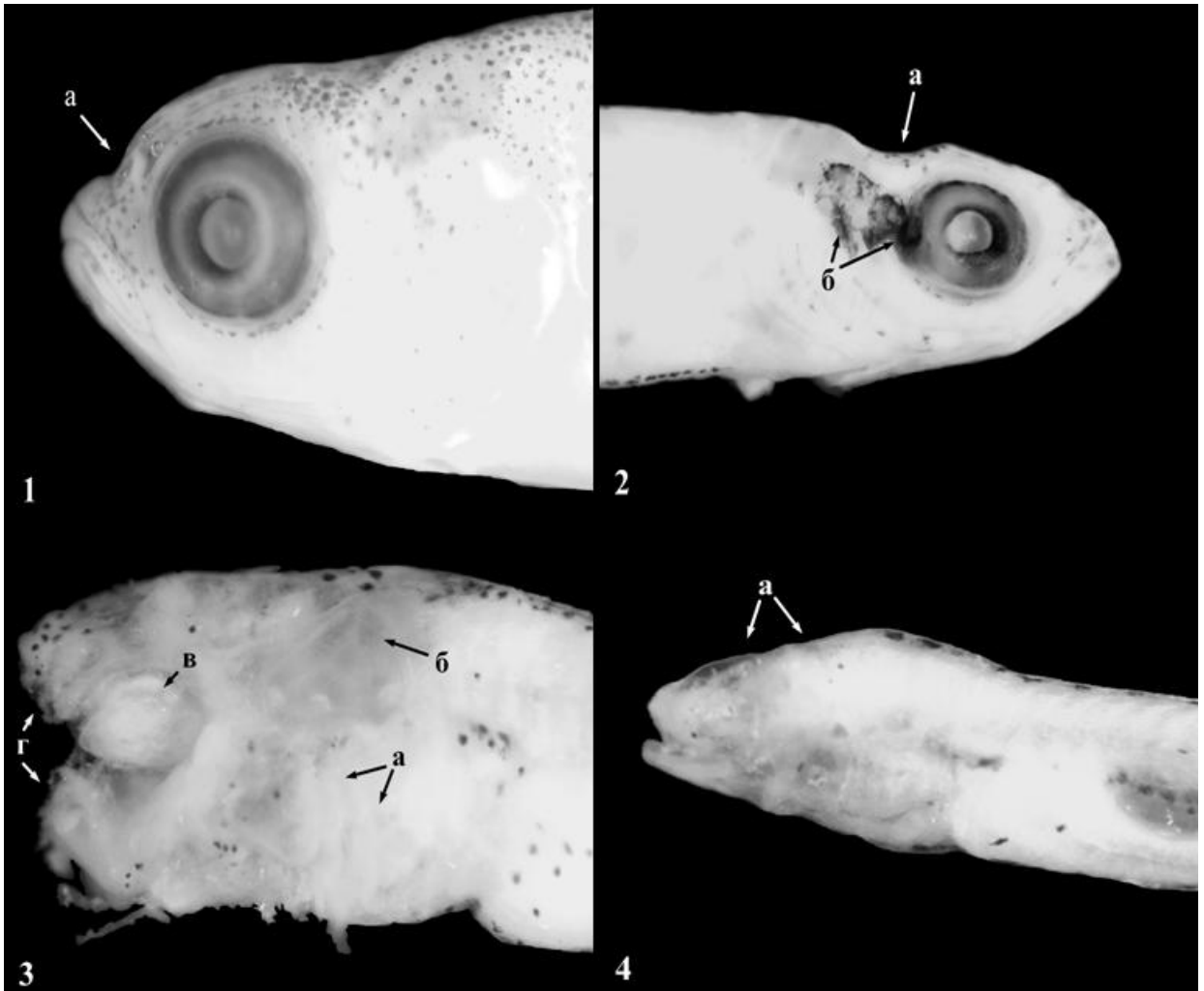
**Рисунок 9.** Нарушения морфологии глаз. 1 – укляя (E), вид справа ( $\times 56$ ), растроение правого глазного яблока, а,б,в – три недоразвитых соединенных между собой глазных яблока с тремя хрусталиками разного размера; 2 – горчак (D1), вид слева ( $\times 32$ ), а – недоразвитое обособленное глазное яблоко с развитым хрусталиком, б – второе развитое глазное яблоко; 3 – красноперка (C<sub>2</sub>), вид справа-снизу ( $\times 32$ ), а – недоразвитое глазное яблоко с развитым хрусталиком в теменной области головы, б – недоразвитое правое глазное яблоко; 4 – плотва (C<sub>2</sub>), вид сверху ( $\times 56$ ), а,б,в – отслоение эпителия обоих глазных яблок; 5 – плотва (E), вид справа ( $\times 32$ ), а – смещение зрительной оси правого глазного яблока; 6 – плотва (D<sub>2</sub>), вид справа ( $\times 32$ ), а – отсутствие пигментации основной части правого глазного яблока.



**Рисунок 10.** Нарушения морфологии глаз. 1 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – полное отсутствие пигментации левого глазного яблока; 2 – уклея ( $D_1$ ), вид слева, а – один глаз в середине лобной области головы (циклопия).

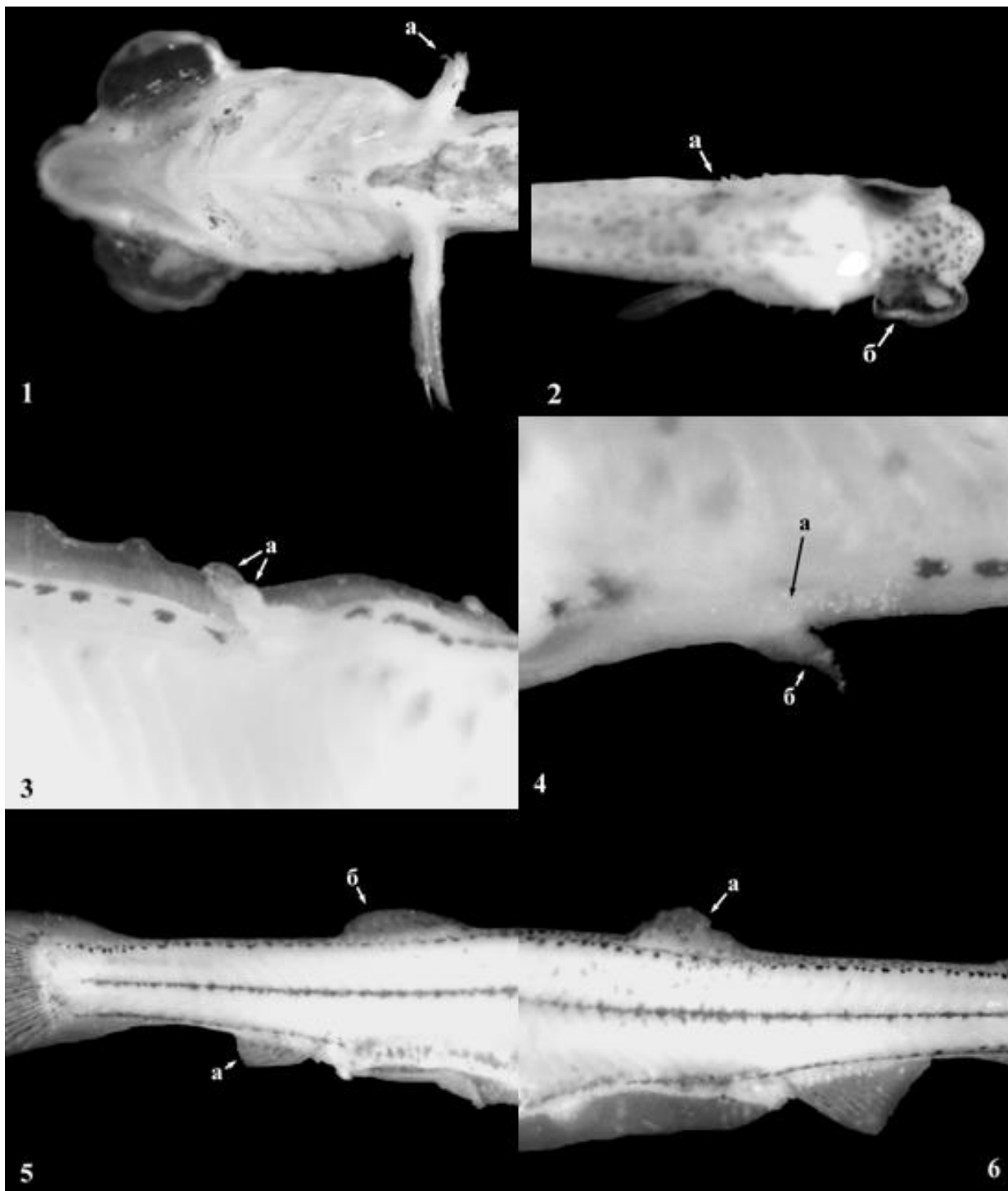


**Рисунок 11.** Нарушения морфологии головы. 1 – плотва ( $C_2$ ), вид справа ( $\times 32$ ), недоразвитие правой жаберной крышки, а – короткая, недоразвитая жаберная крышка, б – незащищенные жаберные дуги, в – недоразвитие верхней челюсти; 2 – укляя (E), вид сверху ( $\times 32$ ), а – искривление левой жаберной крышки, б – нормальная правая жаберная крышка; 3 – укляя ( $C_1$ ), вид справа ( $\times 32$ ), а – полное отсутствие правой жаберной крышки, б – отсутствие правого глазного яблока; 4 – укляя (E), вид слева ( $\times 56$ ), а – искривление верхней челюсти, б – искривление нижней челюсти; 5 – укляя (E), вид слева ( $\times 56$ ), а – искривление нижней челюсти; 6 – язъ ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – недоразвитие верхней челюсти, б – недоразвитие нижней челюсти.

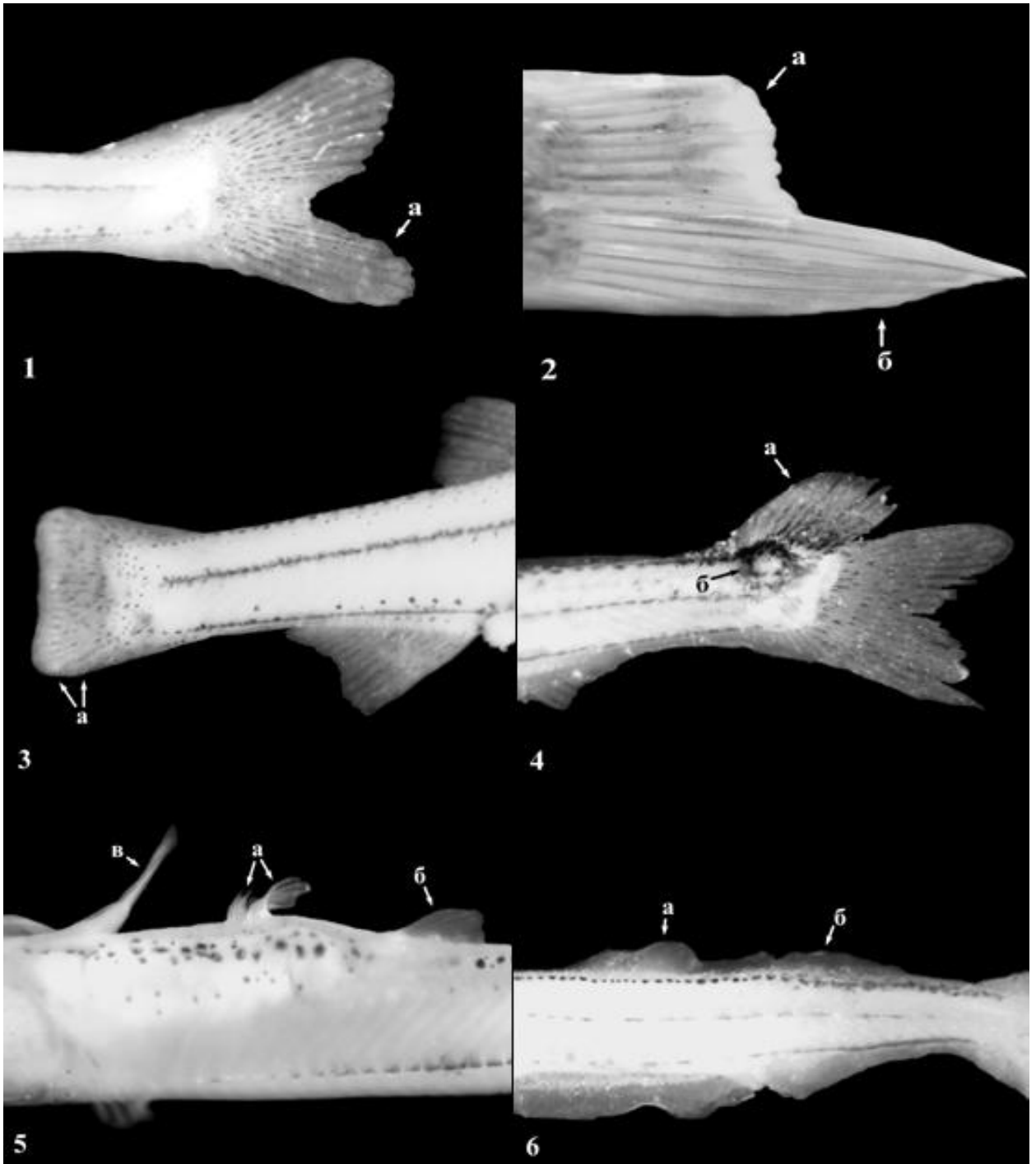


**Рисунок 12.** Нарушения морфологии головы. 1 – плотва (F), вид слева ( $\times 56$ ), а – “мопсовидная” деформация головы; 2 – укляя (E), вид справа ( $\times 32$ ), а – дорзо-вентральная деформация головы (уплощение); 3 – плотва ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 56$ ), общая асимметрия и недоразвитие головы: а – отсутствие левой жаберной крышки, б – нарушение внутреннего строения черепной коробки, в – сильное недоразвитие глазного яблока, г – сильное недоразвитие верхней и нижней челюсти; 4 – укляя ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – общее недоразвитие головы (отсутствие жаберных крышек, глаз, асимметрия головы, нарушение внутреннего строения).



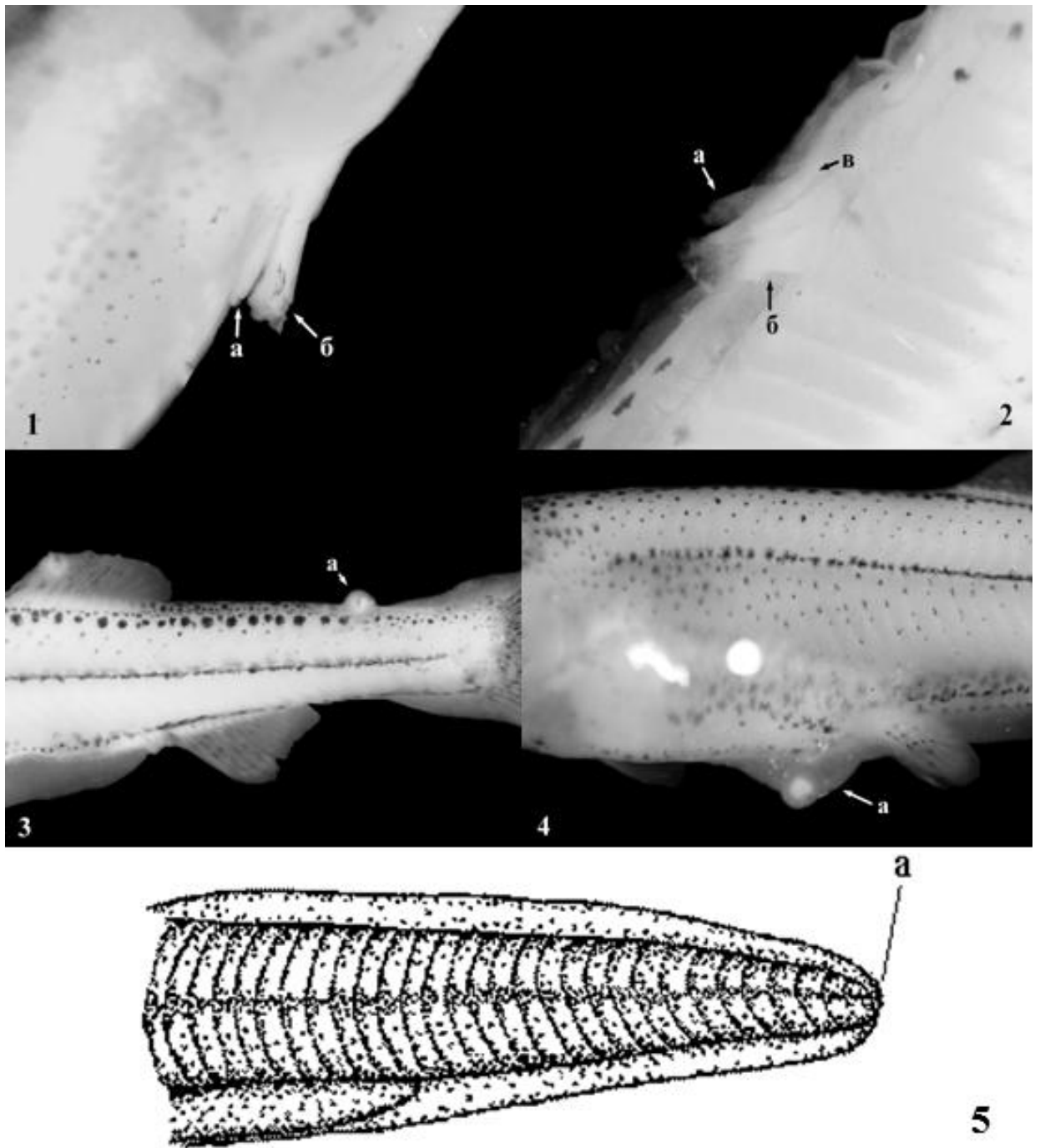


**Рисунок 13.** Нарушения морфологии плавников. 1 – красноперка ( $C_2$ ), вид снизу ( $\times 56$ ), а – недоразвитие левого грудного плавника (P) (отсутствие лучей); 2 – горчак ( $D_2$ ), вид сверху ( $\times 32$ ), а – отсутствие левого P, б – опухоль в правом глазном яблоке; 3 – укляя (E), вид слева-снизу ( $\times 56$ ), а – недоразвитие обоих брюшных плавников (V); 4 – укляя (E), вид слева ( $\times 56$ ), а – отсутствие левого V, б – недоразвитие правого V; 5 – плотва ( $D_2$ ), вид справа ( $\times 32$ ), а – недоразвитие анального плавника (A), б – недоразвитие спинного плавника; 6 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – недоразвитие спинного плавника (D).

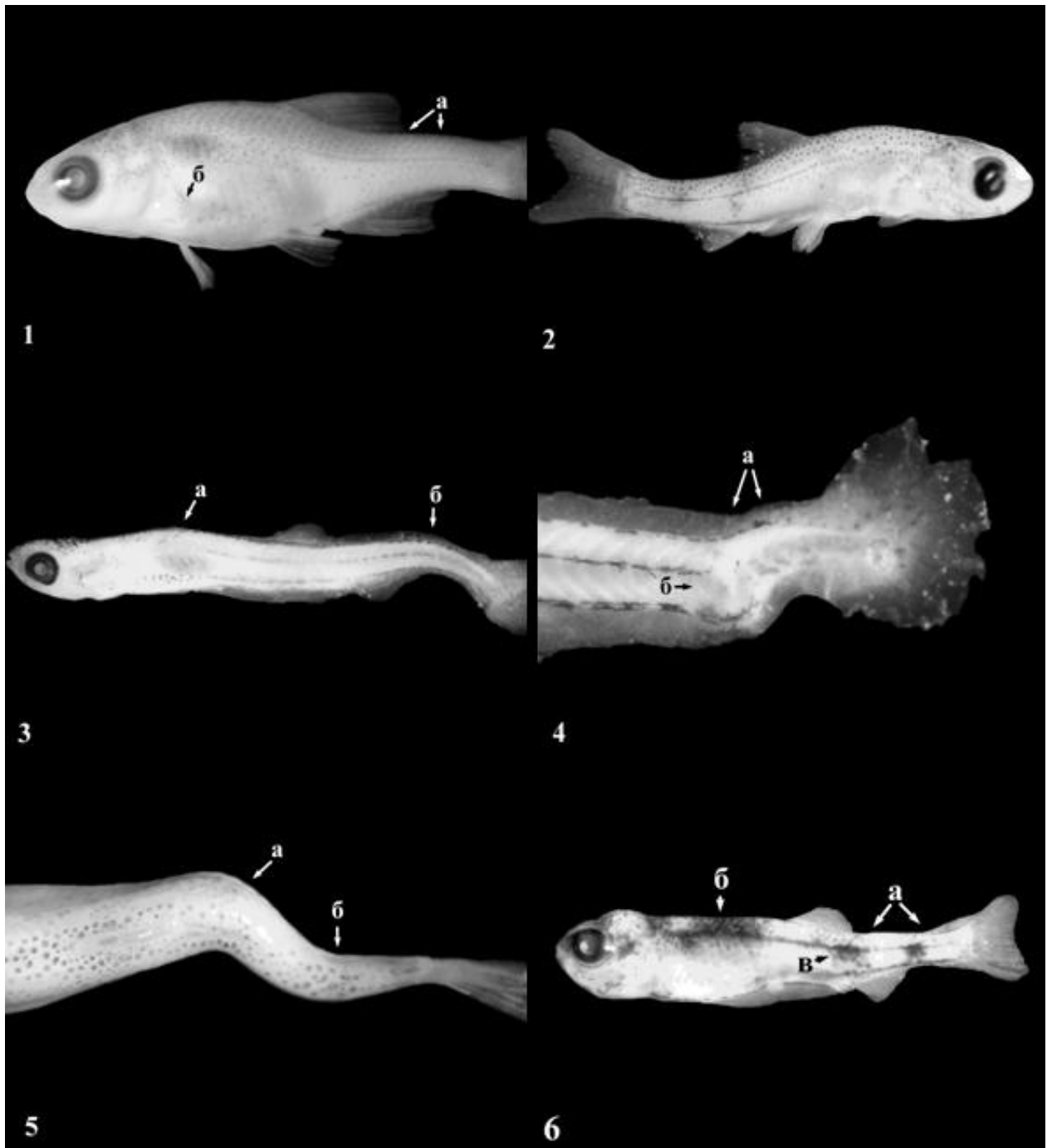


**Рисунок 14.** Нарушения морфологии плавников. 1 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – недоразвитие нижней лопасти хвостового плавника (С); 2 – бычок-кругляк (Н), вид слева ( $\times 16$ ), а – недоразвитие и искривление лучей верхней лопасти С, б – нормально развитая нижняя лопасть С; 3 – плотва (Е), вид справа ( $\times 32$ ), а – недоразвитие С, лучи обеих лопастей недоразвиты и укорочены; 4 – язь ( $D_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – дополнительная лопасть С, б – слабопигментированное новообразование в основании С; 5 – укляя (Е), вид снизу ( $\times 32$ ), а – дополнительные два V, б – нормальная пара V, в – грудные плавники; 6 – язь ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – закладка нормального спинного плавника, б – закладка дополнительного спинного плавника (D).

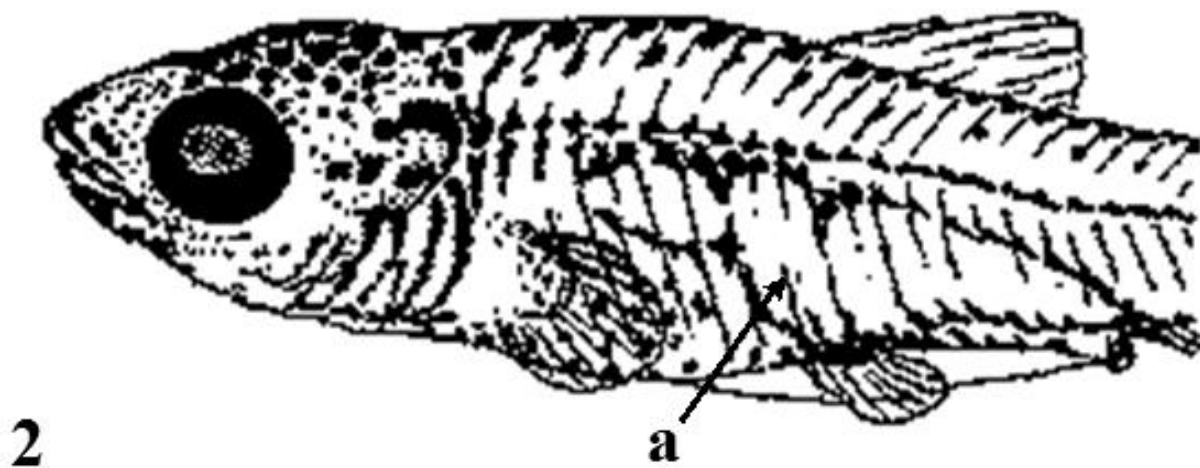
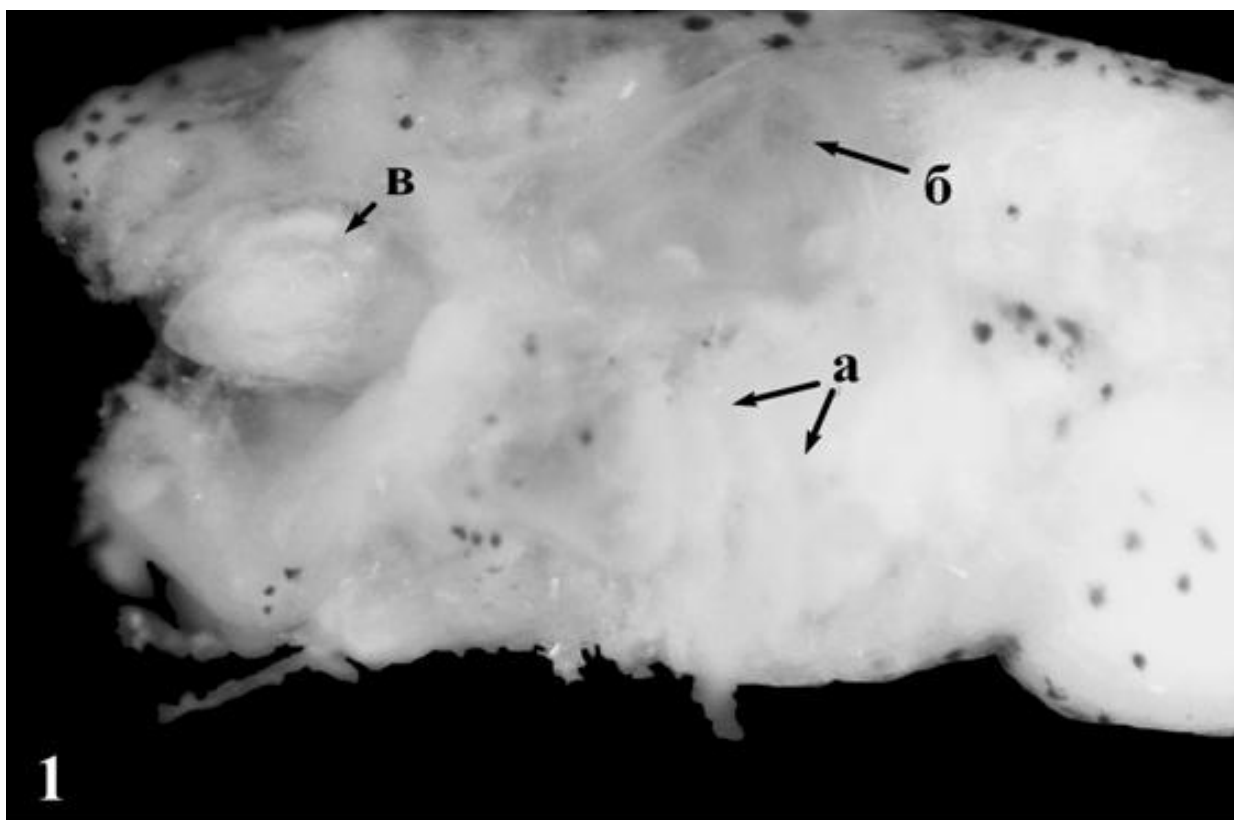




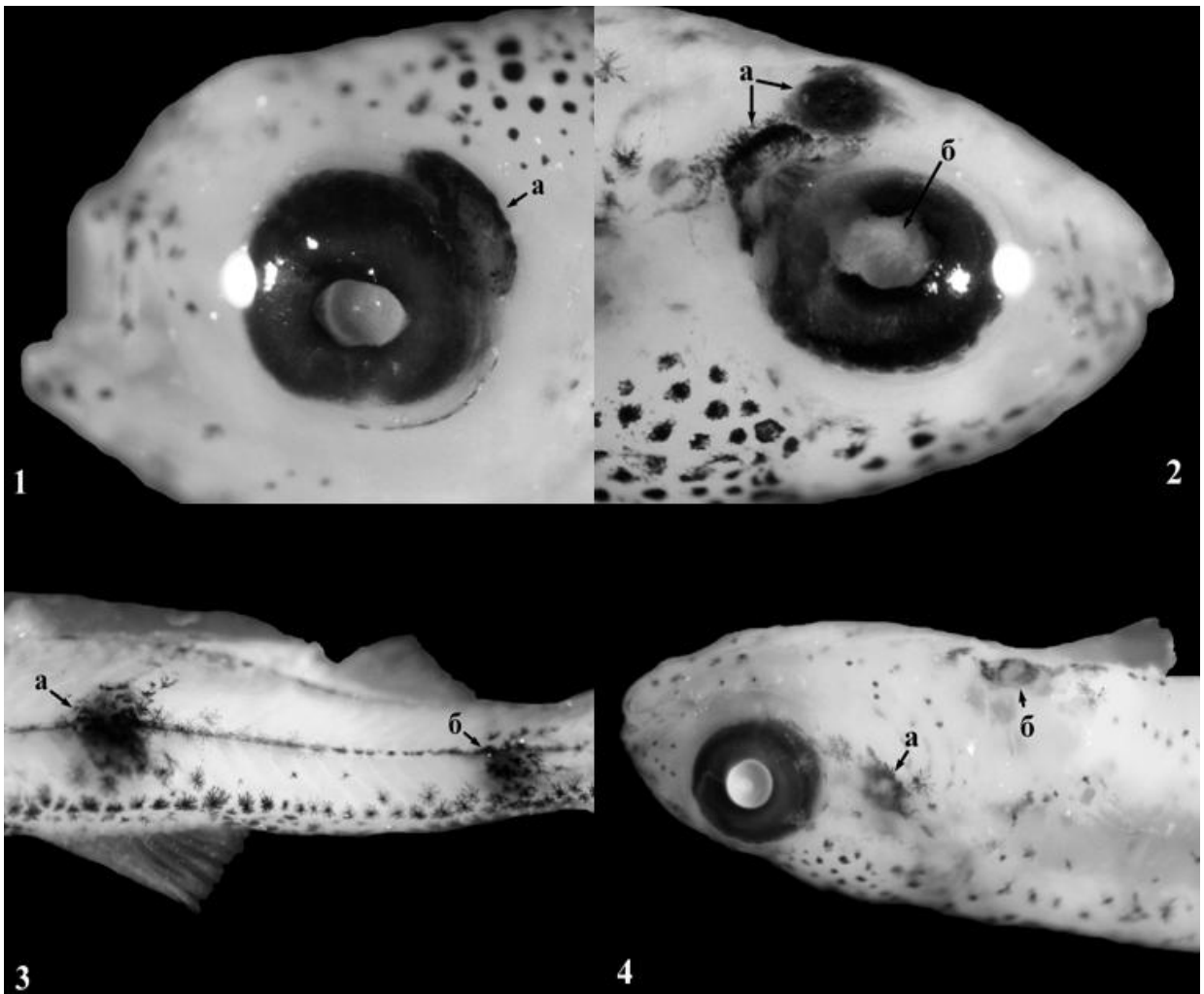
**Рисунок 15.** Нарушения морфологии плавников. 1 – язь ( $D_2$ ), вид снизу ( $\times 56$ ), а – дополнительный грудной плавник с одной стороны тела, расположенный под нормальным грудным плавником, оба плавника с недоразвитыми лучами; 2 – укляя (E), вид снизу ( $\times 56$ ), а – недоразвитый правый V, б, в – расчленение основания левого V на три части, лучи недоразвиты; 3 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – аномальный вырост в верхнехвостовой части плавниковой каймы; 4 – плотва (E), вид слева ( $\times 32$ ), а – аномальный вырост брюшной части плавниковой каймы; 5 – густера (B), вид слева, а – отсутствие закладки хвостового плавника.



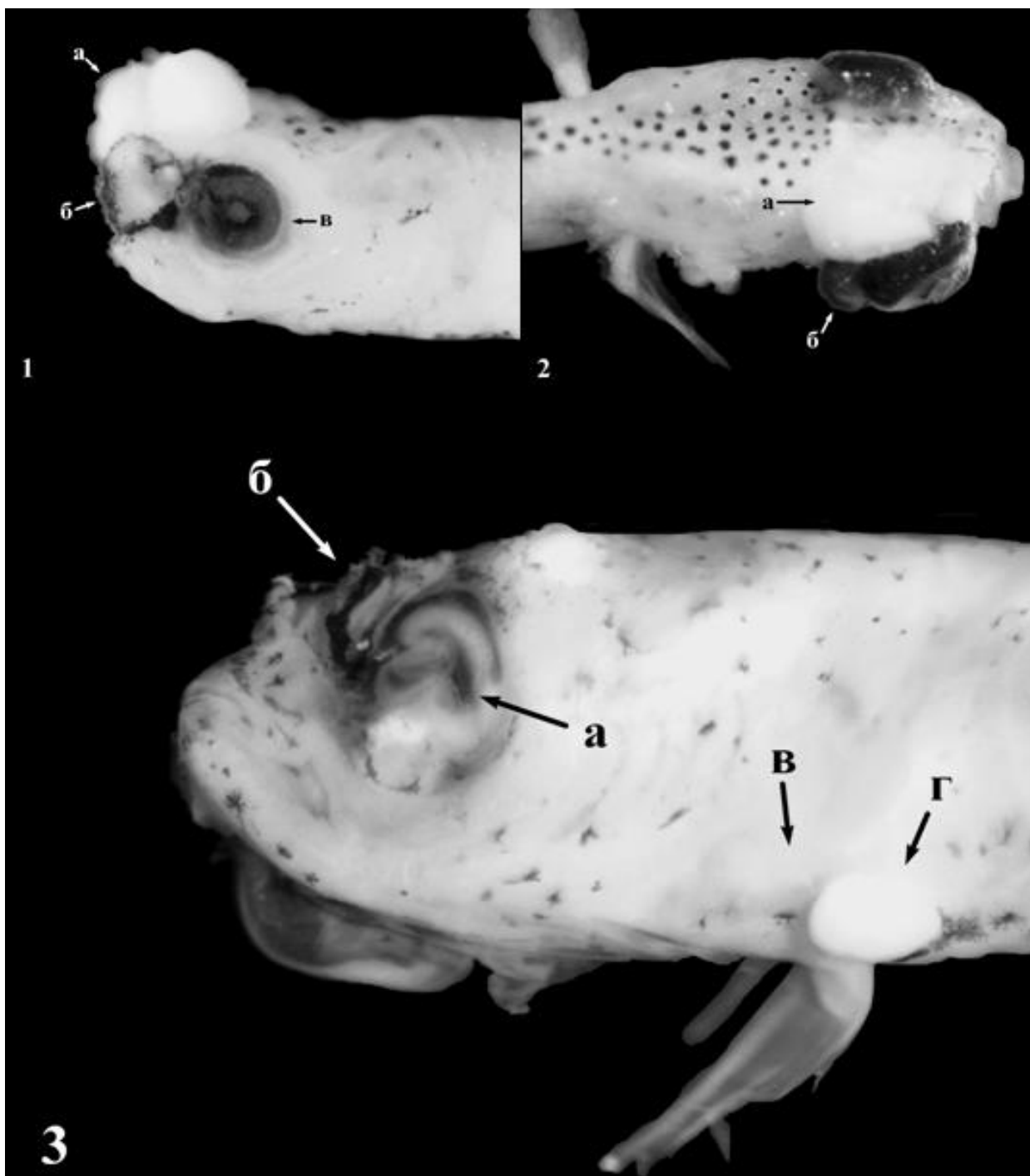
**Рисунок 16.** Нарушения морфологии туловища. 1 – горчак (F), вид слева ( $\times 16$ ), а – слабое искривление позвоночника в хвостовом отделе тела, б – отсутствие левого Р; 2 – плотва (E), вид справа ( $\times 16$ ), среднее искривление позвоночника; 3 – язь ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 16$ ), а – среднее искривление хорды в туловищном отделе тела, б – среднее искривление хорды в хвостовом отделе тела; 4 – плотва ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – сильное искривление хорды в хвостовом отделе тела, б – непигментированная опухоль в месте искривления; 5 – плотва (F), вид сверху ( $\times 32$ ), а, б – сильные горизонтальные искривления позвоночника в хвостовом отделе тела; 6 – плотва ( $D_2$ ), вид слева ( $\times 16$ ), а – недоразвитие хвостового отдела тела, б, в – нарушение пигментного рисунка в туловищном и хвостовом отделах тела.



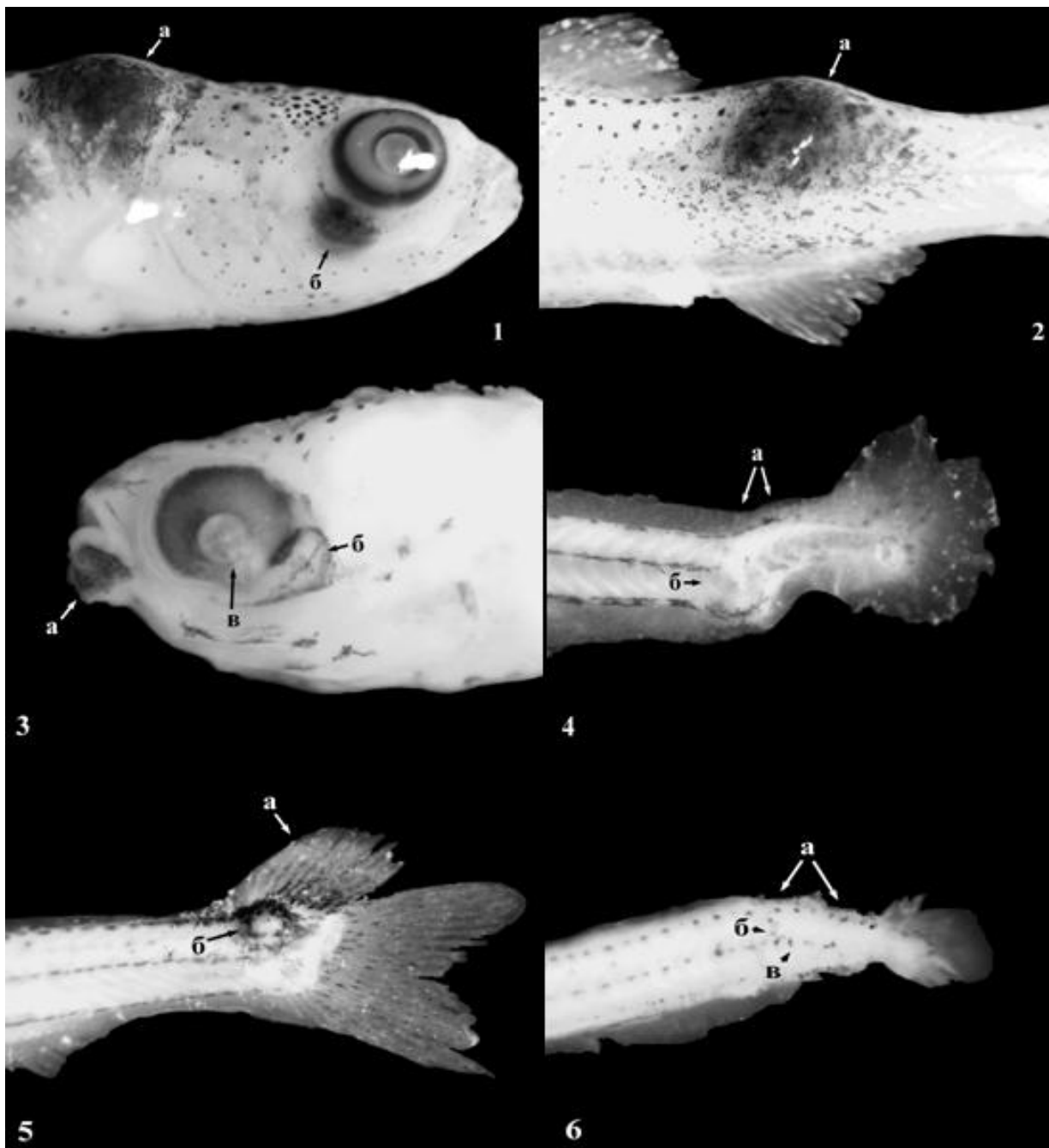
**Рисунок 17.** Нарушения внутреннего строения некоторых органов. 1 – плотва (С<sub>1</sub>), вид слева (×56), а – отсутствие левой жаберной крышки, б – нарушение внутреннего строения черепной коробки, в – сильное недоразвитие глазного яблока; 2 – лещ (Е), вид сбоку: а – тройной плавательный пузырь.



**Рисунок 18.** Пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела. 1 – укляя (E), вид слева ( $\times 56$ ), а – пигментированное образование около левого глазного яблока; 2 – плотва (D<sub>2</sub>), вид слева ( $\times 56$ ), а – пигментированные образования около левого глаза и на нижней челюсти, б – деформация хрусталика; 3 – плотва (D<sub>2</sub>), вид справа ( $\times 32$ ), а – нарушение видоспецифичного пигментного рисунка в туловищном отделе тела, б – нарушение видоспецифичного пигментного рисунка в хвостовом отделе тела; 4 – лещ (D<sub>2</sub>), вид справа ( $\times 32$ ), а – нарушение пигментного рисунка на жаберной крышке, б – нарушение пигментации в основании грудных плавников (P).

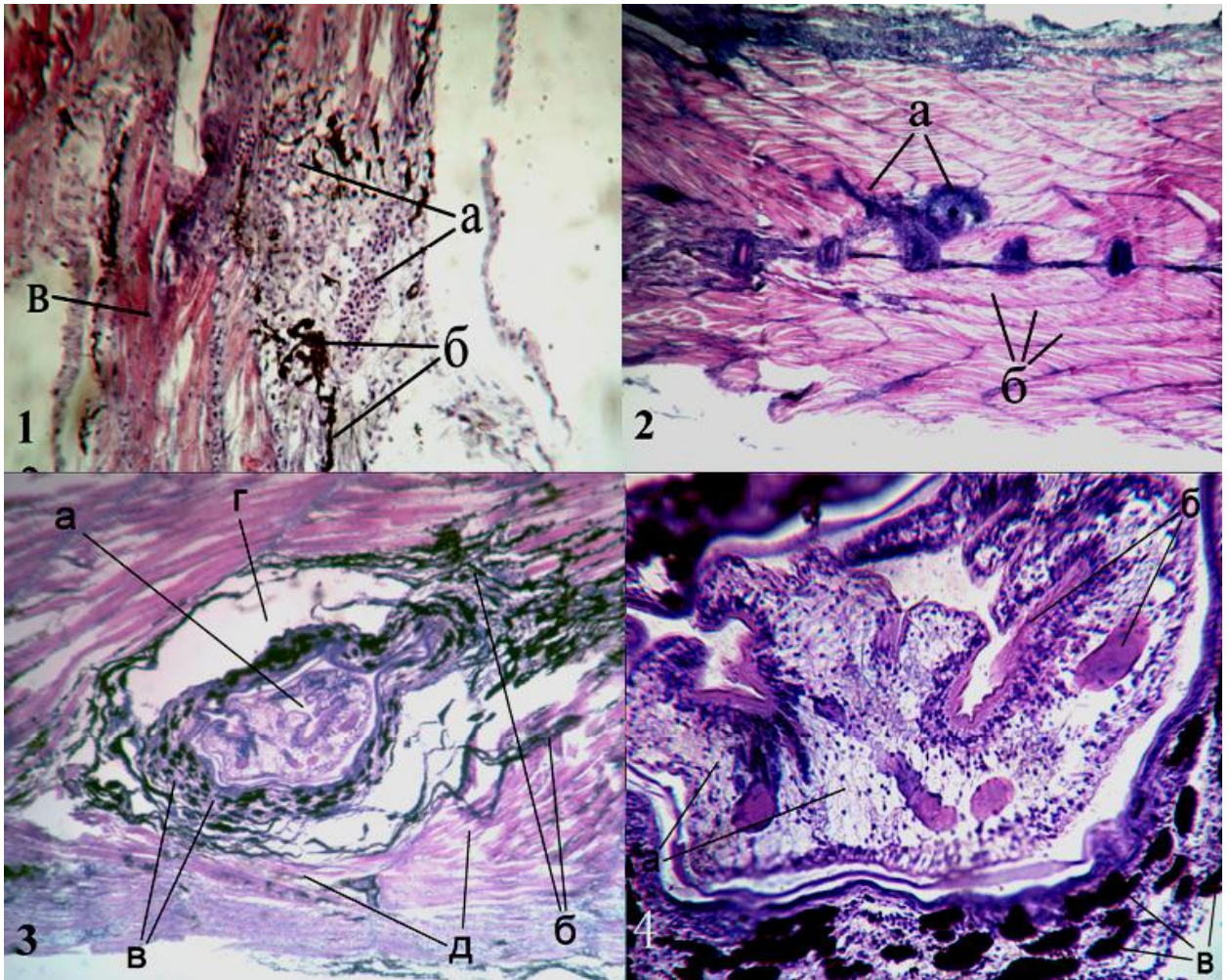


**Рисунок 19.** Наружные непигментированные опухоли. 1 – укля (C<sub>2</sub>), вид слева (×32), а – крупная непигментированная опухоль над левым глазным яблоком (в), б – слабопигментированная опухоль перед глазным яблоком; 2 – плотва (C<sub>1</sub>), вид сверху (×32), а – непигментированная опухоль над правым глазным яблоком, б – пигментированное новообразование около правого глазного яблока; 3 – укля (E), вид слева (×32), а – недоразвитие левого глазного яблока, б – пигментированная опухоль около глазного яблока, в – отсутствие левого грудного плавника, г – непигментированная опухоль на месте отсутствующего грудного плавника.



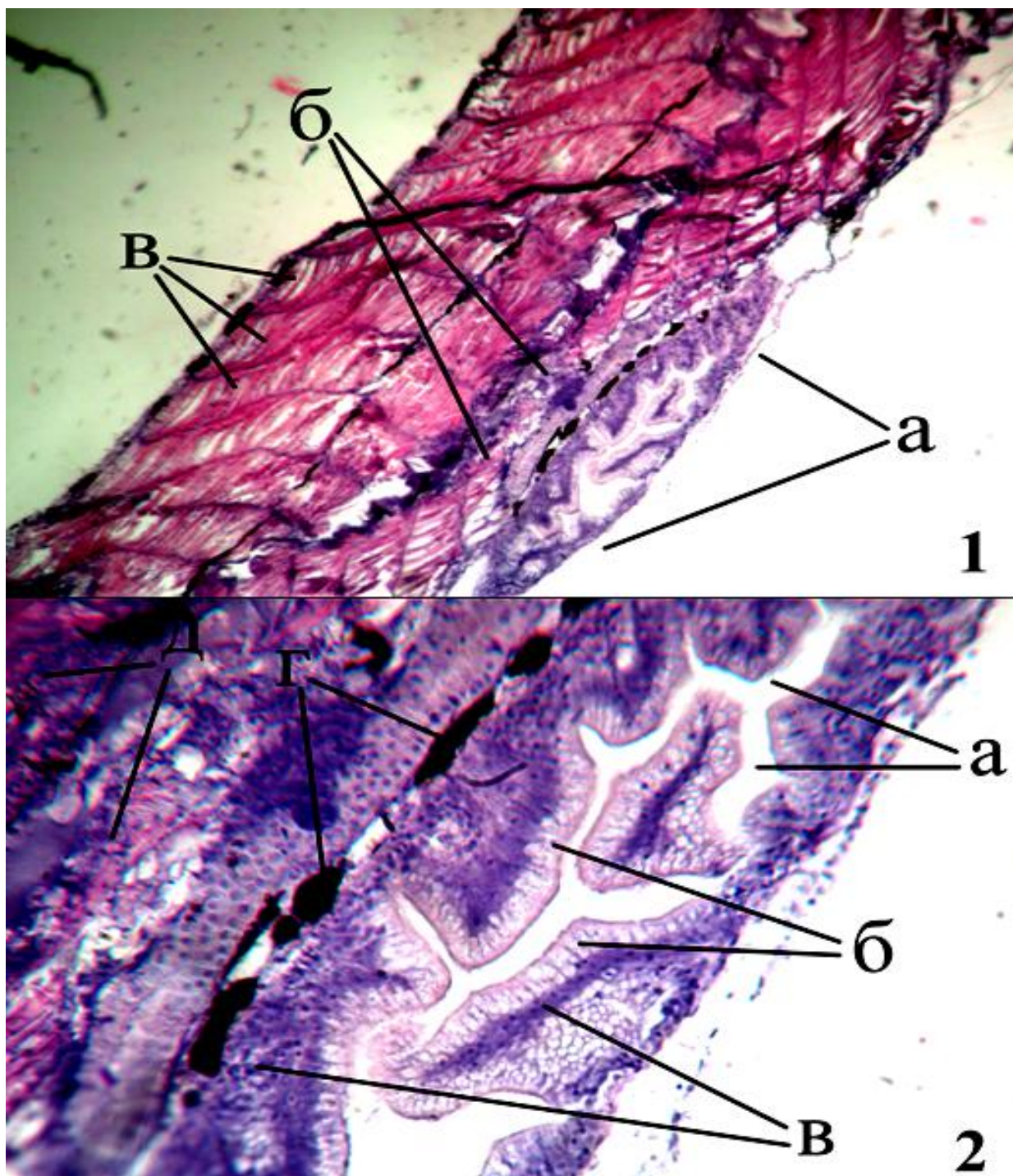
**Рисунок 20.** Нарушения морфологии миотомов. 1 – плотва (F), вид справа ( $\times 32$ ), а – крупная пигментированная опухоль внутри миотомов туловищного отдела тела, б – пигментированная опухоль внутри головы под правым глазным яблоком; 2 – плотва (F), вид слева ( $\times 32$ ), а – крупная пигментированная опухоль внутри миотомов хвостового отдела тела; 3 – уклея ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – пигментированная опухоль в тканях нижней челюсти, в – непигментированная опухоль внутри головы под левым глазом, в – непигментированная рпухоль внутри глазного яблока; 4 – плотва ( $C_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – искривление хорды, б – непигментированная опухоль в месте искривления; 5 – язь ( $D_1$ ), вид слева ( $\times 32$ ), а – дополнительная лопасть С, б – непигментированная опухоль в миотомах основания С; 6 – плотва ( $C_2$ ), вид слева ( $\times 16$ ), а – дисплазия (некроз) миотомов хвостового отдела тела, б, в – дефекты миотомов хвостового отдела тела.





**Рисунок 21.** Гистологическая картина новообразований в миотомах тела. 1 – плотва ( $C_2$ ), вид сверху ( $\times 100$ ): пигментированное новообразование в основании хвостового плавника; а – ткань опухоли, состоящая из слабоокрашенных клеток с оформленными ядрами, б – ярко выраженные обособленные включения меланина, в – миотомы, в месте локализации новообразования они недоразвиты либо отсутствуют; 2 – уклея (E), вид сверху ( $\times 50$ ), а – пигментированное новообразование внутри миотомов, б – дефект (нарушение формы и размеров) нескольких миотомов; 3 – плотва, (G), вид сбоку ( $\times 100$ ): пигментированная опухоль на теле; а – общий вид новообразования, г – ярко выражена полость вокруг опухоли, выстланная пигментированными волокнами – б, в – опухоль окружена плотным слоем железистых пигментированных клеток, д – ярко выражены нарушения структуры миотомов в месте локализации опухоли; 4 – плотва, (G), вид сбоку ( $\times 200$ ), на увеличенном снимке хорошо видна структура новообразования: а – бесцветные железистые клетки с ядрами составляют основную ткань опухоли, б – имеются включения соединительной ткани красного цвета, в – скопления гранул пигмента.





**Рисунок 22.** Гистологическая картина непигментированного новообразования на поверхности тела: язык ( $C_2$ ), вид сверху ( $\times 100$ ). 1 – общий вид опухоли: а – пигментированное новообразование на поверхности туловища, б – деструктурированные и недоразвитые миотомы в месте локализации опухоли, в – нормально развитые миотомы другой стороны тела; 2 – клеточная структура пигментированного новообразования ( $\times 200$ ): а – полость внутри опухоли, заполненная жидкостью, б – призматические железистые клетки, выстилающие внутреннюю полость новообразования в два слоя (местами – в три), в – основная ткань опухоли, состоящая из клеток с ядрами, окрашенных в фиолетовый цвет, г – скопления черного пигмента (меланин), д – деструктурированные миотомы в месте локализации опухоли.



Для большинства нарушений морфологии, за исключением редко встречающихся (общее недоразвитие головы, раздвоение и разтроение глазного яблока, дополнительные аномальные 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 различных морфологических аномалий среди молоди рыб находится в прямой 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 (B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>), 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 комплекса неблагоприятных факторов среды, в первую очередь – загрязняющих веществ, и имеют необратимый характер, что приводит в конечном итоге к элиминации основной части таких особей. Распределение различных групп морфологических аномалий аналогично для разных видов рыб в пределах одного водоема или водотока.

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

На протяжении последних десятилетий волжские водохранилища и преобладающая часть их притоков подвергается активному антропогенному воздействию. В частности, к настоящему времени в Саратовском водохранилище и других водоемах Средней и Нижней Волги сложилась неблагоприятная ситуация для процессов естественного воспроизводства рыб. Постоянное присутствие в воде различных загрязнителей привело к

тому, что тяжелые металлы (и другие поллютанты) стали не только накапливаться в рыбах (Касимов, Крючков, 1988; Батоян, Сорокин, 1989), но и отмечаются многочисленные аномалии внешней морфологии у личинок и мальков рыб (Минеев, 2001, 2011).

Проведенные нами ихтиологические исследования (Евланов и др., 1999; Минеев, 2007в, 2010) показали, что качество водных масс волжских водохранилищ находится в неудовлетворительном состоянии и это оказывает отрицательное воздействие на популяции волжских рыб, выражающееся, в первую очередь, в нарушении основных физиологических показателей, морфологии внутренних органов и внешней морфологии особей.

За все время исследований (1995-2014 гг.) изучена молодь рыб из водохранилищ Средней и Нижней Волги характеризующихся различающимися условиями гидрологического режима (глубина, скорость течения, кислородный режим, площадь пойменных нерестовых участков и т.д.). Куйбышевское водохранилище имеет существенные отличия в гидрологическом режиме от Саратовского и Волгоградского водохранилищ, которые сходны между собой по многим показателям. Малые реки, являющиеся притоками водохранилищ первого и второго порядка, значительно отличаются по водности, скорости течения и кислородному режиму от конечных водоемов водосбора – водохранилищ.

Тем не менее, несмотря на все отличия в гидрологических показателях изученных водоемов, нерест основных и наиболее массовых видов волжских рыб осуществляется в сходных гидрологических условиях. Иными словами, для нереста в условиях различных волжских водохранилищ производителями выбираются участки водоемов соответствующие видовым нерестовым потребностям (температура воды, скорость течения, освещенность, величина рН, кислородный режим, нерестовый субстрат и т.д.), которые не зависят от географического расположения водоема и особенностей его гидрологического режима. В подобных условиях основным фактором, определяющим возникновение различных отклонений в морфологии молоди

рыб, является степень воздействия на нерестилища антропогенных факторов, наиболее мощным из которых является воздействие комплексного техногенного загрязнения.

Согласно результатам наших исследований, доля аномальных личинок и мальков рыб в скоплениях молоди находится в прямой зависимости от степени загрязненности всего водоема и отдельных нерестилищ в частности. Данная тенденция одинакова для всех исследованных водохранилищ Средней и Нижней Волги и их основных притоков. Наличие морфологических аномалий у молоди рыб является прямым последствием негативного воздействия неблагоприятных факторов (в первую очередь - загрязнений) на отдельных особей в период эмбриогенеза и личиночного развития. Чем интенсивнее и длительнее подобное воздействие, тем чаще встречаемость особей с морфологическими аномалиями среди личинок и мальков рыб и тем разнообразнее обнаруживаемые нарушения морфологии.

В условиях незарегулированной р. Волга и отсутствия такого уровня антропогенного воздействия как в последние годы встречаемость молоди рыб с морфологическими аномалиями не превышала 5% (Кирпичников, 1979, 1987). Это доказано исследованиями В.С. Кирпичникова, произведенными на молоди рыб из водоемов Волго-Ахтубинской поймы в 1937 г. На основании полученных результатов величину встречаемости аномальных особей в популяциях не превышающую 5,00% принято считать условной нормой для естественных природных водоемов (Там же).

### **3.2.1. Встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в водоемах и водотоках с различными гидрологическими характеристиками и уровнем загрязнения**

Согласно нашим данным, в большинстве исследованных водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги порог условной нормы по встречаемости аномальной молоди в пробах был многократно превышен на протяжении всего периода исследований (таблица 5).

**Таблица 5.** 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	2011-2013 гг.	3,0±1,22
р. Нылга	2011-2013 гг.	4,2±1,57
р. Позимь	2012 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.	6,7±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.	1983-2014 гг.	52327

Так в водоемах Волго-Ахтубинской поймы (1996-1998 гг.), в Саратовском (1995-2013 гг.) и Куйбышевском (1996-1998 гг.) водохранилищах встречаемость аномальных личинок и мальков за весь период исследования достигла 38,7, 31,3 и 31,4% соответственно, что превышает условную норму для благополучных природных популяций более чем в 6-7 раз. В притоках Саратовского водохранилища первого порядка, какими являются рр. Самара, Чапаевка и Сок, доля аномальных личинок в пробах была значительно ниже, чем в конечном водоеме водосбора, и составила за весь период исследования 7,5, 18,5 и 26,3% соответственно. В р. Большой Черемшан, являющейся притоком Куйбышевского водохранилища первого порядка, встречаемость аномальных особей среди молоди рыб

сопоставима с таковой в притоках Саратовского водохранилища – 8,7% (Минеев, 2013а).

В притоках Саратовского водохранилища второго порядка: рр. Съезжая, Большой Кинель и Кондурча, доля молоди рыб с нарушениями внешней морфологии в пробах еще ниже, чем в притоках первого порядка и конечном водоеме водосбора.

В рр. Большой Кинель и Кондурча общая встречаемость аномальных особей не превышала условной нормы и составляла 1,8 и 3,8% соответственно. В р. Съезжая доля рыб с морфологическими аномалиями незначительно превышала значение условной нормы и составляла 6,7%.

В качестве контрольных объектов для изучения встречаемости аномальных особей среди молоди рыб нами использовались 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 и другие экологические характеристики данных водоемов приведены в главе 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.

Однако на р. Позимь молодь рыб отлавливалась в городской черте г. Ижевска, который является крупным промышленным центром. В связи с этим р. Позимь является приемником бытовых и промышленных стоков республиканского центра, что не может не отразиться на состоянии ихтиофауны данного водоема. В пробах из р. Позимь встречаемость аномальных личинок и мальков рыб составила 22,5%, что более чем в четыре раза превышает значение условной нормы для благополучных природных популяций.

Таким образом, прослеживается тенденция увеличения встречаемости аномальных особей в пробах от притоков второго порядка к притокам первого порядка и основным водоемам водосбора – Саратовскому и Куйбышевскому водохранилищам. Одной из основных причин данного различия, по нашему мнению, является более высокий уровень загрязнения водохранилищ – основных водоемов водосбора, чем уровень загрязнения притоков второго и первого порядка, а диапазон присутствующих в воде загрязнителей намного шире.

Распределение загрязняющих веществ по акватории каждого изученного водоема и водотока и их концентрации на разных станциях исследования характеризуются определенной неоднородностью, и имеют, как правило, выраженный очаговый характер. В связи с этим общая встречаемость аномальных личинок в изучаемом водоеме не может вполне адекватно характеризовать состояние скоплений молоди рыб на его отдельных участках. Уровень загрязнения воды и, соответственно, встречаемость молоди рыб с нарушениями внешней морфологии, в условиях волжских водохранилищ находится, как правило, в прямой зависимости от удаленности основных источников загрязнения, каковыми являются крупные населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспортные объекты (авто- железнодорожные магистрали, мосты через реки, судоходные шлюзы, речные порты, пристани и т.п.), объекты гидроэнергетики (ГЭС, ГРЭС).

На протяжении всей акватории Саратовского водохранилища изучение встречаемости аномальных личинок и мальков рыб осуществлялось в отдельные годы (таблица 6). На протяжении 1996, 1997, 2006, 2007, 2009, 2010 и 2011 гг. изучалась молодь рыб с 31 станции Саратовского водохранилища от самых верховий (п. Федоровка и п.-о. Копылово) до Балаковской АЭС, расположенной перед плотиной Саратовского водохранилища.

**Таблица 6.** Встречаемость аномальных личинок рыб на станциях Саратовского водохранилища в отдельные годы

№ и название станции	Встречаемость аномальных личинок рыб, %						
	1996	1997	2006	2007	2009	2010	2011
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1. п. Федоровка	91,7**	16,7**	-	-	-	-	90,8**
2. п-в Копылово	-	45,8**	-	-	-	-	41,2**
3. о. Середыш	-	-	-	0,0	-	-	-
4. с. Зольное	-	70,4**	-	50,8**	0,0	0,0	-
5. протока Старый Мокрец	-	33,9**	-	1,9	3,3	8,1*	-
6. устье р. Сок (мост)	24,4**	12,9**	-	41,3**	40,2**	1,5	-
7. устье р. Сок (залив)	-	-	0,00	27,0**	-	-	57,1**
8. п. Красная глина	54,8**	48,6**	18,4**	0,0	10,0*	-	-
9. о. Серный	34,3**	-	-	0,0	-	-	-
10. устье р. Самара	23,5**	-	19,1**	0,0	24,8**	0,0	45,5**
11. устье р. Самара (выше на 1 км.)	6,3*	-	14,3**	-	-	-	-
12. протока Сухая Самарка	-	-	-	-	-	-	-
13. Тушинская воложка	-	-	2,1	4,3	-	-	-
14. Рождественно-Шелехм. пойма	-	-	4,4	0,0	5,3*	2,4	8,2*
15. Устье Чапаевки	59,9**	-	-	-	18,3**	-	-
16. р. Студенка (пойма. Мордово)	12,5**	55,6**	53,0**	26,9**	37,7**	85,5**	37,8**
17. Кольцовская воложка	-	88,7**	91,0**	0,3	-	11,7**	-
18. о. Екатериновский (с. Брусяны)	-	-	43,9**	5,2*	4,3	-	-
19. пойма с. Брусяны	-	-	-	7,4*	4,0	61,5**	32,3**
20. пойма напротив п. Переволоки	-	-	65,5**	34,3**	3,5	-	-
21. г. Печерск	-	-	0,00	20,9**	16,2**	32,3**	24,0**
22. пойма напротив г. Октябрьск	-	-	-	5,3*	8,9*	21,5**	-
23. г. Октябрьск	-	-	2,7	22,2**	-	-	33,9**

**Таблица 6. (Окончание)**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
24. пойма напротив г. Сызрань	-	-	23,7**	7,9*	10,5**	14,1**	25,7**
25. пойма напротив с. Приволжье	-	-	2 из 7**	36,1**	10,0*	7,9*	16,7**
26. Аграфеновская гора	-	-	10,7**	0,0	6,9*	-	-
27. с. Большая Федоровка	-	-	58,3**	42,9**	21,7**	5,6*	-
28. г. Хвалы́нск	-	-	30,0**	-	-	30,2**	30,2**
29. с. Алексеевка	-	-	36,4**	0,0	37,9**	-	-
30. с. Меровка	-	-	-	7,7*	-	-	0,0
31. пойма около Балаковской АЭС	-	-	19,8**	54,1**	4,4	0,0	47,1**
Общая встречаемость аномальных личинок по водохранилищу, %	<b>20,1**</b> <b>±0,71</b>	<b>57,8**</b> <b>±0,90</b>	<b>22,7**</b> <b>±0,75</b>	<b>18,5**</b> <b>±0,75</b>	<b>15,3**</b> <b>±0,78</b>	<b>18,8**</b> <b>±1,11</b>	<b>18,8**</b> <b>±1,11</b>

Примечание (здесь и далее): “ - ” – молоди рыб не обнаружено; 0,0, 4,4 – аномальных особей не обнаружено, или их встречаемость не превышает условно принятой нормы; 5,6\* – встречаемость аномальных особей превышает условную норму для благополучных природных популяций; 25,7\*\* – встречаемость аномальных особей более чем в два раза превышает условную норму.



В отдельные годы на многих станциях Саратовского водохранилища, являющихся нерестилищами массовых аборигенных видов рыб, молоди рыб обнаружено не было, что может свидетельствовать о несостоявшемся нересте либо о массовой гибели личинок рыб на ранних стадиях личиночного или эмбрионального развития. Так, например в 1996 и 1997 гг. в низовьях Саратовского водохранилища, начиная от ст. № 18, молодь рыб не обнаруживалась вовсе, тогда как в верховьях личинки и мальки рыб в тот же период были многочисленны, но обнаруживались не на всех станциях из верховий водоема (таблица 6).

Однако, как в 1996, так и в 1997 году, практически на всех станциях из верховий Саратовского водохранилища встречаемость аномальной молоди рыб в пробах превышала условно принятую норму более чем в два раза, а в местах активного поступления в воду загрязняющих веществ она была превышена многократно. В районе сброса бытовых стоков г. Тольятти (ст. № 1 и 2 – п. Федоровка и п-в Копылово) процент личинок и мальков с морфологическими аномалиями в пробах достигал 91,7 и 45,8%. В последующие годы (2006-2011 гг.) молоди рыб на данных станциях исследования в период нереста не обнаруживалось, что может являться следствием как неудовлетворительного состояния воды в данном районе, так и следствием массовой гибели молоди рыб в предыдущие годы.

Однако с 2006 по 2011 гг. молодь рыб была многочисленна на нерестилищах как в верховьях, так и в низовьях водоема, и на некоторых станциях встречаемость аномальной молоди рыб в пробах соответствовала условной норме (ст. № 5 – 2007 и 2009 гг.; ст. № 13 и 14 – 2006 и 2007 гг.; ст. № 18-20 – 2009 г; и др.) или аномальных особей вовсе не было зафиксировано (ст. № 4 – 2009 и 2010 гг.; ст. № 8-10 – 2007 г.; ст. № 26 – 2007 г.; ст. № 29, 30 и 31 – 2007, 2011 и 2010 гг.). Но на большинстве обследованных станций процент аномальных особей в пробах существенно превышал значение условной нормы, в некоторых случаях – в 17,1 раза (ст.

№ 16 р. Студенка в 2010 г.). На многих нерестилищах молоди рыб не обнаруживалось совсем, возможно из-за несостоявшегося нереста рыб.

Несмотря на довольно мозаичную картину количественного распределения аномальной молоди рыб на разных станциях Саратовского водохранилища, прослеживается тенденция преобладания таких особей в районах крупных населенных пунктов: г. Тольятти (ст. № 1 и 2), г. Самара (ст. № 6-11), п. Переволоки – г. Печерск (ст. № 20, 21), г. Октябрьск – г. Сызрань (ст. № 23, 24), г. Хвалынский (ст. № 28), Балаковская АЭС (ст. № 31) и других стойких источников загрязнений (ст. № 15, 16, 17).

В результате, общая встречаемость аномальной молоди рыб на всех станциях Саратовского водохранилища в отдельные годы исследования стабильно превышала значение условно принятой нормы для благополучных популяций более чем в два раза (таблица 6). В 1997 г. общая встречаемость по Саратовскому водохранилищу особей с морфологическими аномалиями достигла 57,8%, что более чем в одиннадцать раз превышает значение условно принятой нормы.

В Кольцово-Мордовинской пойме Саратовского водохранилища, где исследования молоди рыб осуществлялись ежегодно, и основные станции которой можно считать контрольными точками для акватории данного водоема, среднегодовая встречаемость аномальных особей, укладываемая в границы условной нормы для естественных природных популяций, наблюдалась только однажды – в 2007 г., и составляла 2,5% (таблица 7).

На отдельных станциях поймы за весь период исследования встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в пределах условно принятой нормы наблюдалось лишь дважды: 0,0% в р. Студенка (1998 г.) и 0,3% в Кольцовской воложке (2007 г.).

В большинстве обследованных участков Кольцово-Мордовинской поймы за длительный период исследования (1995–2013 гг.) встречаемость аномальных личинок и мальков рыб превышала условно принятую норму (5,0%) более чем в два раза, а в некоторых – многократно, достигая

критических значений. Так в 1997 г. на трех станциях поймы процент аномальной молодежи в пробах варьировал от 55,6% в р. Студенка, до 88,9% в Кольцовской воложке, в 2000 г. от 55,7% в р. Студенка до 90,7% в Кольцовской воложке. В 2006 г. в Кольцовской воложке был зафиксирован наибольший процент встречаемости аномальных особей для водоемов Кольцово-Мордовинской поймы за весь период исследований – 91,0%.

**Таблица 7.** 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**	-	<b>27,7**</b>
1996	12,5**	-	8,8*	<b>9,4*</b>
1997	55,6**	88,7**	88,6**	<b>81,5**</b>
1998	0,0	14,5**	-	<b>9,2*</b>
1999	81,3**	-	58,9**	<b>66,3**</b>
2000	55,7**	90,7**	77,0**	<b>75,2**</b>
2002	5,20*	14,8**	-	<b>10,9**</b>
2003	10,7**	6,2*	-	<b>8,7*</b>
2004	17,8**	14,2**	-	<b>17,0**</b>
2005	71,3**	10,2**	-	<b>56,5**</b>
2006	53,0**	91,0**	43,7**	<b>62,6**</b>
2007	26,9**	0,3	-	<b>2,5</b>
2008	5,1*	52,0**	2,9	<b>20,3**</b>
2009	37,7**	-	-	<b>37,7**</b>
2010	85,5**	11,7**	-	<b>48,6**</b>
2011	37,8**	-	-	<b>37,8**</b>
2012	10,1**	-	-	<b>10,1**</b>
2013	23,4**	-	-	<b>23,4**</b>

Соответственно и среднегодовые показатели встречаемости аномальных особей в Кольцово-Мордовинской пойме на протяжении большинства лет изучения существенно превышали значение условно принятой нормы. Лишь в 1996, 1998 и 2003 годах данный показатель превышал условную норму менее чем в два раза – 9,4, 9,2 и 8,7%,

соответственно, а в 2007 г. среднегодовое содержание аномальной молодежи в пробах не выходило за пределы нормы (таблица 7).

Начиная с 2009 и до 2013 г., как среднегодовая встречаемость аномальной молодежи рыб в Кольцово-мордовинской пойме, так и ее встречаемость на отдельных станциях исследования стабильно превышает условную норму более чем в два раза, либо молодежь рыб не обнаруживается вовсе из-за отсутствия необходимых нормальных условий нереста на основных нерестилищах.

Ситуация по состоянию молодежи рыб, сложившаяся и стабильно сохраняющаяся на протяжении двух десятилетий в водоемах Кольцово-Мордовинской поймы, которые являются одними из основных нерестилищ рыб Саратовского водохранилища, является следствием ряда причин:

во-первых: одним из основных источников загрязнения Кольцово-Мордовинской поймы являются диффузный водосбор с сельскохозяйственных угодий Правобережья р. Волги, последующее накопление пестицидов, гербицидов, инсектицидов содержащих медь, цинк, кадмий и свинец в воде и донных отложениях пойменных водоемов;

во-вторых: поступление загрязнений от г. Самары и из устья р. Чапаевки, расположенного в 10 км выше водоемов поймы. Воды реки Чапаевка, поступающие в Саратовское водохранилище, постоянно содержат большое количество загрязняющих веществ. В отдельные годы концентрация изомеров гексахлорциклогена (альфа-, бета-, гамма-ГХЦ) выше нормативов в десятки раз. Зафиксированы также значительные превышения концентрации меди – 2-30 ПДК, марганца – 4-18 ПДК, кадмия – 8 ПДК (Выхристюк и др., 1996). Район населенного пункта Новый путь, который расположен в верховьях Кольцово-Мордовинской поймы, испытывает непосредственное влияние сильно загрязненных вод р. Чапаевка. На протяжении ряда лет этот район являлся наиболее загрязненным легко окисляемыми органическими веществами (2-3 ПДК), фенолами (5-3 ПДК), фосфором (3-9 ПДК) (Выхристюк и др., 1996), а концентрация марганца в воде в 1997 г. достигала

11 ПДК (Селезнев и др., 1998). Вода с такими химическими характеристиками поступает непосредственно в Кольцовскую воложку и пойменные озера о-ва Кольцовский. В результате во многих водоемах Кольцово-Мордовинской поймы наблюдаются превышения рыбохозяйственных ПДК по соединениям меди (от 1,0 до 3,5 ПДК), цинка (до 4,1 ПДК), свинца (до 0,333 мг/дм<sup>3</sup>) и т.д. (По данным Центральной лаборатории СФ ОАО «УГОК», г. Сибай, респ. Башкортостан, ул. Горького, д. 54. Аттестат аккредитации № РОСС. RU.0001 5153, действительного до 27 июля 2017 г.).

Таким образом, состояние скоплений молоди рыб в Кольцово-Мордовинской пойме на протяжении ряда лет вполне адекватно характеризует общее состояние молоди рыб всего Саратовского водохранилища.

На акватории Волгоградского водохранилища так же сохраняется тенденция встречаемости наибольшего количества личинок и мальков рыб в местах наибольшего уровня техногенных загрязнений – крупных населенных пунктов, транспортных узлов и промышленных предприятий. Так в районе г. Саратова, где в зоне влияния сточных вод отмечены высокие концентрации фосфатов и существенное превышение ПДК по нитритному азоту (в 4,4-13,5 раз весной и в 1,5-4,4 раз осенью) (Доклад о ..., 2013), встречаемость личинок и мальков рыб с морфологическими нарушениями варьировала в пределах 41,53-48,00% (таблица 8).

В то же время, на обширных нерестилищах, расположенных в пойме р. Волги, напротив г. Саратова (ст. № 2), молоди рыб совсем не встречено, что свидетельствует о несостоявшемся нересте. 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 – 16,1%, по своему значению сопоставим с таковым по

Саратовскому водохранилищу в отдельные годы: 2007, 2009–2011 гг. (таблица 6), что свидетельствует о примерно одинаковом уровне антропогенной нагрузки на данные водоемы.

**Таблица 8.** Встречаемость аномальных личинок рыб на разных станциях Волгоградского водохранилища

№ и название станции	Встречаемость аномальных особей, %
1. 1 км выше г. Саратов (мост)	48,0**
2. пойма напротив г. Саратов	-
3. 1 км ниже г. Саратов (грузовой порт)	41,5**
4. п. Нижняя Добринка	4,8
5. п. Горный Балыклей	4,8
6. залив напротив с. Новоникольское	39,5**
7. устье р. Оленья	0,0
Общая встречаемость аномальных личинок по водохранилищу, %	<b>16,1**</b> <b>±1,07</b>

Таким образом, встречаемость аномальных личинок и мальков рыб в различных участках исследованных водоемов является следствием комплексного воздействия неблагоприятных факторов среды, которые, в свою очередь, могут иметь разную природу (биогенные и неорганические загрязнители) и степень негативного воздействия.

Ранее отмечалось, что рыбы более подходят для анализа последствий токсических воздействий неорганических веществ, в то время как бентосные и планктонные беспозвоночные более показательно реагируют на изменения трофности водоема (Моисеенко и др., 2010).

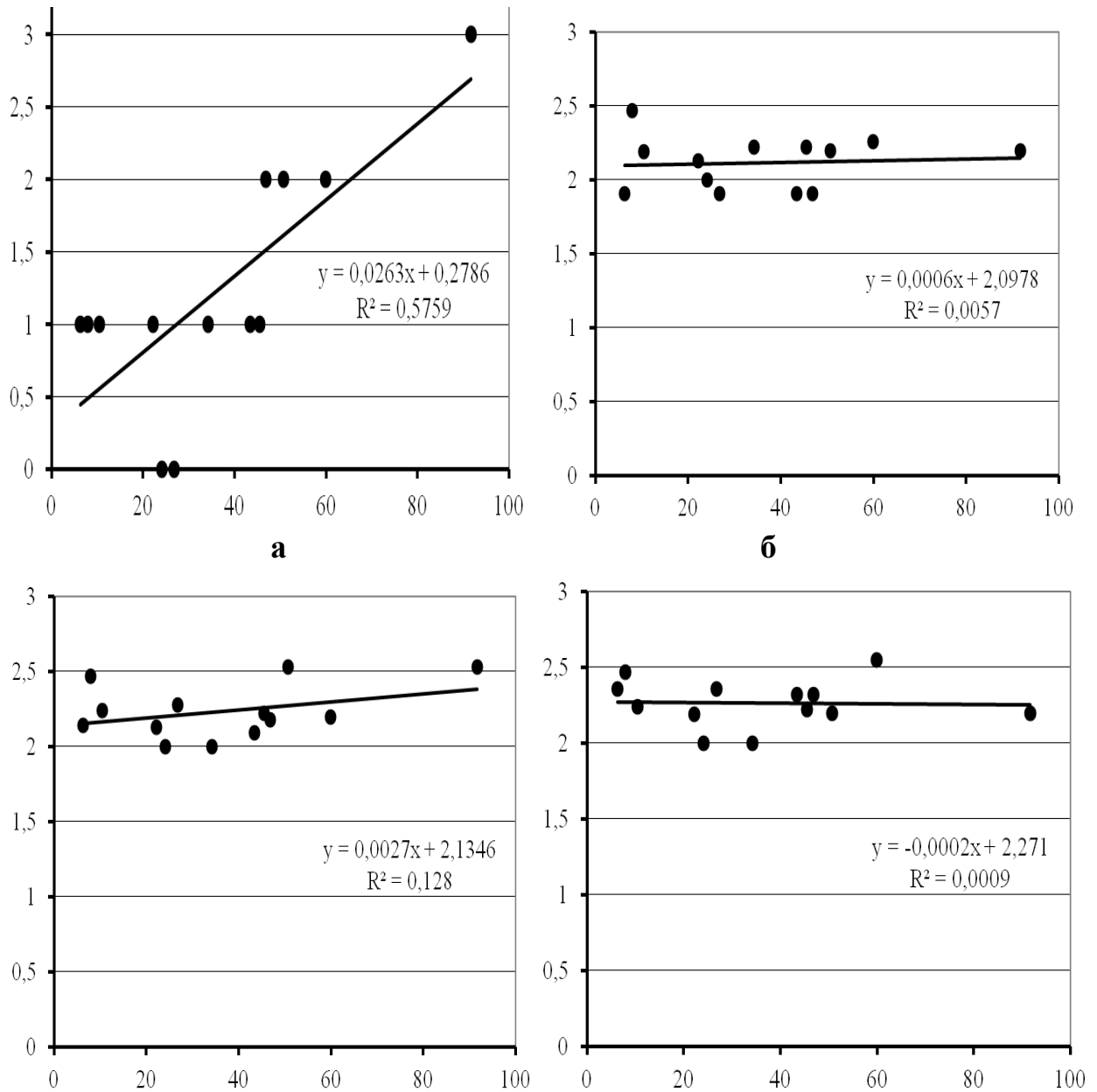
Для подтверждения определяющего воздействия именно неорганических загрязнителей (наиболее распространенным поллютантом в изученных водоемах является Cu) на возникновение аномалий у молоди рыб нами было проведено исследование в контрольных створах приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища (4 станции) и Саратовского водохранилища (9 станций) (таблица 9).

**Таблица 9.** Показатели загрязненности воды органикой и Cu в контрольных створах Куйбышевского и Саратовского водохранилищ.

Станции	Параметры					
	% аномальных особей в пробах	Класс качества воды (по и.с.)	Индекс сапробности (и.с.) по зоопланктону	И.с. (перифитон)	И.с. (фитопланктон)	Cu (ПДК)
<b>Куйбышевское водохранилище</b>						
1. Водозабор г.о. Тольятти (левый берег)	6,2	II	1,45-1,91	1,88-2,14	1,5-2,36	1
2. Ниже стока ООО «АВК» (левый берег)	45,4	II←III	1,45-1,91	1,77-2,09	1,5-2,32	1
3. 1,5 км выше плотины ГЭС (левый берег)	46,9	II←III	1,45-1,91	1,99-2,18	1,87-2,32	2
4. 1,5 км выше плотины ГЭС (правый берег)	26,7	II	1,45-1,91	1,98-2,28	1,5-2,36	0
<b>Саратовское водохранилище</b>						
5. г.о. Тольятти 0,5 км ниже ст. ГОС	91,7	II-III	1,47-2,2	2,1-2,53	1,54-2,2	3
6. г.о. Тольятти н.п. Зольное	50,8	II-III	1,47-2,2	2,1-2,53	1,54-2,2	2
7. г.о. Самара 0,5 км выше города (левый берег)	34,3	II←III	1,48-2,22	1,55-2,00	1,55-2,00	1
8. г.о. Самара 1 км ниже ст. ГОС (левый берег)	45,5	II-III	1,94-2,22	1,94-2,22	1,94-2,22	1
9. г.о. Самара 1 км ниже ст. ГОС (середина)	24,1	II←III	1,48-2,00	1,55-2,00	1,55-2,00	0
10. Устье р. Чапаевка	59,9	II-III	1,58-2,26	2,0-2,20	2,03-2,55	2
11. г.о. Сызрань г.о. Октябрьск (правый берег)	22,2	II←III	1,49-2,13	1,49-2,13	1,84-2,19	1
12. г.о. Сызрань ст. Кашпир (середина)	10,5	II←III	1,84-2,19	2,03-2,24	2,03-2,24	1
13. г.о. Сызрань (правый берег)	7,9	II←III	1,88-2,47	1,88-2,47	1,88-2,47	1

Примечание: Для анализа зависимости встречаемости аномальных личинок и мальков рыб от сапробности (трофности) водоемов нами использовались общепринятые характеристики степени загрязненности водоема органическими веществами (Гос. доклад ..., 2012), соответствующие критериям трофической классификации водоемов (Tayler et al., 1980). Класс качества исследованных участков водоемов по гидробиологическим показателям устанавливался на основе индексов сапробности по фитопланктону, зоопланктону и перифитону (Гос. доклад ..., 1997, 2000, 2001, 2009, 2012).

Корреляционный анализ с применением коэффициента корреляции Пирсона подтвердил достоверную зависимость встречаемости аномальной молодежи в пробах с контрольных станций от содержания в воде  $\text{Cu}$  (с порогом значимости – 0,55 по Пирсону) (рисунок 23.а).



**Рисунок 23.** 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 тоже время корреляция встречаемости аномальных рыб и трех индексов сапробности (как по верхней границе значений, так и по нижней) оказалась недостоверной. То есть загрязненность водоема биогенными веществами в исследованных станциях не влияет на процент аномальных особей в пробах, либо влияет незначительно.

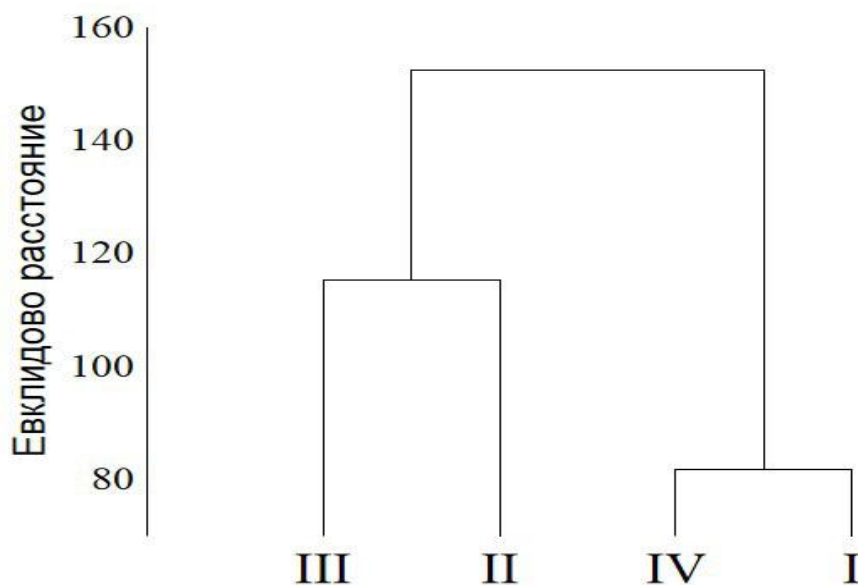
Таким образом, одним из определяющих факторов возникновения аномалий у личинок и мальков рыб являются, прежде всего, неорганические загрязнители, являющиеся для молоди рыб наиболее токсичными. Однако, нельзя исключать и потенциального негативного воздействия органических (биогенных) соединений, так как они являются частью комплексного загрязнения отдельных участков исследованных водоемов.

Распределение загрязняющих веществ по акватории каждого из изученных водоемов и водотоков, и их концентрации на разных станциях исследования характеризуются определенной неоднородностью, и имеют, как правило, выраженный очаговый характер. В связи с этим уровень загрязнения воды и, соответственно, встречаемость личинок и мальков рыб с морфологическими аномалиями, в условиях волжских водохранилищ находится, как правило, в прямой зависимости от удаленности основных источников загрязнения, каковыми являются крупные населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспортные объекты и т.д. При этом в притоках водохранилищ первого, второго и третьего порядка, даже в условиях определенного уровня загрязнений, встречаемость аномальных особей, как правило, существенно ниже, чем в основном водоеме водосбора, что является следствием особенностей гидрологического режима рек. Однако, на примере р. Позимь протекающей в черте г. Ижевска, показано, что встречаемость аномальных личинок и мальков рыб может быть очень высокой вследствие высокого уровня загрязнения даже при благоприятном гидрологическом режиме.

Кластерный анализ по Брею-Кёртису подтверждает существующее различие между изученными водоемами, как по уровню загрязнения, так и по

встречаемости аномальной молодежи рыб. По результатам кластерного анализа встречаемости аномальных личинок и мальков рыб в разных условиях выделяются 2 пространственные группировки (кластера) (рисунок 24). Наибольшим сходством (в 46%) характеризуются условия в самих Волжских водохранилищах (кластер I) и во втором контроле (кластер IV – р. Позимь), характеризующиеся стабильно высоким уровнем загрязнения и высокой встречаемостью аномальных личинок и мальков рыб в пробах.

Водоемы и водотоки со средним уровнем загрязнения (II – притоки 1-го и 2-го порядка) и с минимальным уровнем загрязнения или полным его отсутствием (III – р. Нылга и р. Ува) по дендрограмме сходства объединились в другой кластер, то есть сходство данных водоемов по встречаемости аномальных особей в пробах с кластером I–IV является незначительным, несмотря на низкое сходство (в 21%) внутри кластера.



**Рисунок 24.** Дендрограмма сходства встречаемости (%) аномальных личинок и мальков рыб в отдельных пробах (по Брею-Кёртису) в водоемах и водотоках с различным уровнем загрязнения: I – Водоемы с постоянным стабильно высоким уровнем загрязнения (Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское водохранилища и Волго-Ахтубинская пойма), II – Водоемы со средним уровнем загрязнения, имеющим локальный и временный характер (притоки водохранилищ 1-го и 2-го порядка), III – Контроль 1. Водоемы с минимальным уровнем антропогенной нагрузки и очаговым характером загрязнения (р. Нылга и р. Ува – притоки Куйбышевского водохранилища 5-го порядка), IV – Контроль 2. Приток Куйбышевского водохранилища 3-го порядка – р. Позимь, с постоянным и высоким уровнем загрязнения.

### 3.2.2. Встречаемость аномальных особей среди массовых видов рыб

За время исследования экологического состояния ихтиофауны Средней и Нижней Волги была изучена молодь рыб двадцати шести видов, среди которых были представители короткоцикловых и длинноцикловых видов рыб шести семейств, отличающиеся особенностями экологии (предпочтение нерестовых субстратов, сроки нереста, особенности питания, исходной численностью вида в водоеме и т.д. ). Наиболее представительной как по численности, так и по видовому составу являлась молодь рыб Саратовского водохранилища, так как основные наши исследования осуществлялись с 1995 по 2013 г. на этом водоеме. Однако численность молоди разных видов рыб имеет существенные различия (таблица 10), объясняемые экологическими особенностями каждого вида.

Встречаемость аномальных особей среди молоди разных видов рыб практически не зависит от видовой принадлежности, тогда как находится в прямой зависимости от уровня загрязнения водоема или водотока. На примере Саратовского водохранилища видно (таблица 10), что в водоеме с определенным уровнем загрязнения, встречаемость аномальных личинок и мальков рыб примерно одинакова среди представителей массовых видов, а некоторые существующие различия являются результатом различающейся видовой чувствительности рыб к неблагоприятным воздействиям.

Так среди молоди видов карповых рыб разных экологических групп: эврифагов – плотва, красноперка и язь, бентофагов – лещ и густера, планктофага уклей, являющихся самыми массовыми видами рыб Саратовского водохранилища за все время исследования, встречаемость аномальных особей различается незначительно (таблица 10). Данный показатель варьирует в пределах от 23,4% у планктофага уклей до 38,4% среди бентофага густеры. Среди окуня, который является наиболее массовым аборигенным хищником Саратовского водохранилища, встречаемость аномальной молоди за весь период исследования соответствует 27,4%, что также сопоставимо с данным показателем у карповых рыб.

**Таблица 10.** Встречаемость аномальных особей разных видов рыб Саратовского водохранилища за весь период исследования (1995-2013 гг.)

Вид рыб	Общее число особей, экз.	№ экз.	Доля аномальных особей, %
Плотва <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	10519	3472	33,0±0,46
Язь <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	3854	1305	33,9±0,76
Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	2417	668	27,6±0,91
Густера <i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758)	2390	918	38,4±0,99
Уклея <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	1900	445	23,4±0,97
Лещ <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	1019	271	26,6±1,38
Жерех <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758)	169	21	12,4±2,55
Верховка <i>Leucaspius delineates</i> (Heskel, 1843)	128	9	7,0±2,27
Елец <i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)	104	21	20,2±3,96
Линь <i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758)	100	3	3,0±1,71
Карась золотой <i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)	91	4	4,4±2,16
Окунь <i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	173	48	27,7±3,41
Синец <i>Abramis ballerus</i> (Linnaeus, 1758)	50	10	20,0±5,71
Бычок-цуцик <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	46	0	0,0
Горчак <i>Rhodeus sericeus</i> (Bloch, 1782)	43	9	20,9±6,28
Карась серебряный <i>Carassius auratus</i> (Bloch, 1782)	24	1	4,2±4,17
<b>Общие показатели</b>	<b>23027</b>	<b>7205</b>	<b>31,3±0,31</b>

Примечание: №<sup>a</sup> – число аномальных особей по виду; плотва – массовые виды рыб.

Для остальных видов рыб общая встречаемость как в отдельные годы, так и за весь период исследования являлась мало репрезентативной,

вследствие чего показатели соотношения здоровых и аномальных особей не информативны.

В дальнейшем для объяснения закономерностей встречаемости аномальных личинок и мальков рыб в других исследованных водоемах и водотоках на разных стадиях личиночного и малькового развития мы будем использовать материалы, полученные при исследовании молоди только массовых видов рыб: плотва, язь, красноперка, густера, лещ и окунь. Представители данных видов многочисленны и нерестилища данных видов рыб также расположены повсеместно во всех исследованных водоемах и водотоках: изученных водохранилищах и их притоках разного порядка.

На примере Саратовского водохранилища, где исследования молоди рыб осуществлялись ежегодно, видно, что встречаемость аномальных особей среди молоди разных видов рыб практически не зависит от видовой принадлежности особей, в то время как прослеживается прямая зависимость от периода исследования (года исследования). Так в 1998 г., когда уровень загрязнения водоема, видимо, был ниже, чем в 1997 г., встречаемость аномальных особей среди разных видов варьировала в пределах 5,3% (лещ) – 17,4% (густера), тогда как в 1997 г. величина данного показателя составляла от 42,3% среди леща до 78,7% густеры (таблица 11).

Таким образом, повышение встречаемости аномальных особей наблюдается среди всех обследованных массовых видов рыб в зависимости от повышения уровня загрязнения Саратовского водохранилища в отдельные годы. Обратная ситуация – снижение доли аномальных личинок и мальков среди всех обследованных видов рыб, наблюдается в периоды относительного понижения уровня загрязнения изучаемого водоема. Такими годами, по нашим наблюдениям являлись 1998, 2003 и 2012: существенное понижение аномальных особей в скоплениях молоди наблюдалось среди всех представленных видов рыб на всей акватории Саратовского водохранилища.

**Таблица 11.** Встречаемость аномальных особей среди молоди массовых видов рыб Саратовского водохранилища в отдельные годы

Год	Доля аномальных особей среди молоди рыб массовых видов, %						
	плотва	красноперка	язь	укляя	лещ	густера	окунь
1995	18,6	27,3	22,9	21,3	18,1	14,8	38,7
1996	17,9	17,4	25,2	30,1	18,3	16,2	-
1997	57,8	68,9	59,8	75,0	42,3	78,7	46,4
1998	6,5	11,2	11,1	8,7	5,3	17,4	-
1999	40,6	49,1	46,7	-	36,4	43,7	50,0
2000	44,9	47,9	46,5	50,0	41,2	46,5	-
2002	13,6	17,9	3,9	8,8	-	12,5	-
2003	4,4	18,4	7,3	14,6	5,4	-	-
2004	16,7	19,3	29,4	16,4	24,0	13,3	-
2005	66,5	71,6	67,1	-	30,0	88,5	-
2006	18,9	22,7	18,3	17,3	22,1	24,5	22,7
2007	16,9	28,1	17,3	8,3	22,7	25,6	16,7
2008	13,4	23,4	16,9	-	20,2	25,9	-
2009	19,4	15,3	11,6	13,5	13,6	21,9	-
2010	17,8	19,2	17,7	15,8	20,2	17,4	-
2011	24,8	31,3	18,9	31,1	19,5	24,1	1 из 1
2012	7,5	6,7	6,3	10,7	11,9	4,7	-
2013	30,5	10,4	20,0	28,4	27,7	18,2	-

Аналогичная ситуация наблюдается и в других обследованных водоемах (таблица 12). Среди карповых рыб Куйбышевского водохранилища за все время исследования (1984-1986, 1996-1998 гг.) доля аномальных особей среди разных видов варьировала в пределах 13,2% (густера) – 21,2% (красноперка). У молоди окуня данный показатель достигал 25,9%, а у каспийской тюльки, которая является в Куйбышевском водохранилище чужеродным видом – 38,9%.

**Таблица 12.** Встречаемость аномальных особей среди молоди массовых видов рыб из водоемов Средней и Нижней Волги

Виды рыб	Доля аномальных особей среди молоди рыб из разных водоемов, %		
	Куйбышевское водохранилище	Волгоградское водохранилище	Волго-Ахтубинская пойма
Плотва	20,4	42,6	28,4
Красноперка	21,2	25,4	44,5
Язь	17,2	41,7	31,1
Уклея	15,8	30,0	51,3
Лещ	14,4	0 из 9	46,3
Густера	13,2	0 из 1	61,2
Окунь	25,9	-	23,3
Тюлька	38,9	-	-

Более высокие показатели встречаемости аномальных личинок и мальков среди карповых видов рыб зафиксированы в Волгоградском водохранилище (2011 г.) (от 25,4% у красноперки до 42,6% у плотвы) и Волго-Ахтубинской пойме (1996-1998 гг.) (от 28,4% у плотвы до 61,2% у густеры). Молодь рыб разных видов, если не в одинаковой, то в сходной степени подвержена воздействию комплекса антропогенных загрязнений, которые в разных водоемах и в разное время могут быть разно-выраженными и часто имеющими очаговый характер. В основных притоках разного порядка Саратовского и Куйбышевского водохранилища встречаемость аномальных особей среди разных видов рыб также практически не зависит от видовой принадлежности особей, в то время как зависимость от уровня антропогенных загрязнений ярко выражена (таблица 13).

**Таблица 13.** Встречаемость аномальной молодежи массовых видов рыб из притоков волжских водохранилищ

Виды рыб	Доля аномальной молодежи рыб в притоках двух водохранилищ, %									
	Притоки Саратовского водохранилища						Притоки Куйбышевского водохранилища			
	Сок	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 рр. Нылга и Ува, практически не испытывающих антропогенной нагрузки, среди плотвы, красноперки и уклейки аномальных особей не обнаружено, а среди густеры доля личинок и мальков с нарушениями морфологии не превышает условно принятой нормы либо превышает ее незначительно: 4,9% – р. Нылга, 5,9% – р. Ува.

В то же время у молоди 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 молоди рыб разных видов не обнаружено аномальных особей: у плотвы из рр. Большой Кинель и Чапаевка, у красноперки, язя и густеры из рр. Кондурча, Самара и Большой Кинель, у леща из р. Кондурча.

Встречаемость аномальных особей среди видов где аномальные личинки и мальки рыб обнаружены не превышает 9,7 (уклея из р. Самара), 10,0 и 15,4% (плотва и лещ из р. Съезжая). Однако в р. Сок встречаемость аномальных особей среди молоди рыб разных видов значительно превышает таковую в других притоках Саратовского водохранилища, что является следствием более сильного загрязнения устьевого участка реки в зоне подпора Саратовского водохранилища. Доля аномальных рыб в данных условиях варьирует от 19,8% у язя до 35,2% у густеры. В то же время в верхнем и среднем течении р. Сок (выше г. Сергиевск и п. Красный яр) встречаемость аномальной молоди в пробах не превышает 5,0%.

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

Различия по встречаемости аномальных особей среди разных видов рыб в пределах одного водоема объясняется отчасти встречаемостью в отдельных пробах, как правило, личинок и мальков рыб, находящихся на

разных стадиях личиночного развития. Это происходит в силу того, что каждый вид рыб, изучаемый нами, имеет свои, отличающиеся от других видов, сроки нереста, зависящие от температуры воды, скорости течения, освещенности и т.д. В результате, нерест каждого вида рыб на одном нерестилище происходит с определенной разницей во времени, соответственно, стадии эмбрионально-личиночного развития протекают у каждого вида в разные сроки. Таким образом, в одной пробе оказываются представители разных видов рыб находящиеся на различающихся стадиях личиночного и малькового развития.

Как будет показано далее (глава 3.2.3) наличие морфологических аномалий у молоди рыб существенно зависит от возраста, то есть стадии личиночного и малькового развития, каждой особи в силу ряда причин, и не зависят от видовой принадлежности молоди рыб. Так как в пробе может оказаться больше представителей одного вида рыб на более поздних личиночно-мальковых стадиях среди которых доля аномальных особей уже снижена в результате, например естественной элиминации, и меньше представителей другого вида на более ранних стадиях развития, среди которых еще велик процент особей с морфологическими аномалиями, то может возникнуть некоторая неоднородность в общем показателе встречаемости аномальных особей среди разных видов рыб. В таблицах 11–13 мы можем наблюдать некоторое различие в пределах одного изучаемого водоема по встречаемости аномальных особей среди рыб разных видов, что и объясняется наличием в пробах представителей разных возрастов, однако зависимость встречаемости аномальных особей каждого вида рыб от степени загрязненности водоема сохраняется.

### **3.2.3. Встречаемость аномальных особей среди молодежи массовых видов рыб на разных стадиях эмбрионально-личиночного и малькового развития**

Большинство рыб с момента выхода из икринки и до превращения в малька проходят так называемый личиночный период жизни, когда строение и внешние признаки особей все время меняются (Коблицкая, 1981). С момента выхода и до окончания личиночного периода – превращения личинки в малька – в среднем проходит около 1 месяца или немногим более, а продолжительность малькового периода жизни (мальки, сеголетки) может длиться от нескольких месяцев до одного года (Там же). Личиночный период развития дифференцируется на более мелкие этапы. Каждый этап (или стадия развития) – это такой отрезок развития особи, на котором происходят лишь медленные, постепенные изменения и рост особи, но не совершается существенных качественных изменений ни в строении, ни в функциях, ни в поведении рыбы (Васнецов, 1953). Описание этапов развития рыб в литературе дано далеко не для всех видов, однако, для большинства карповых рыб, обитающих в волжских водоемах и водотоках, стадии личиночного и малькового развития хорошо изучены и практически не различаются по своим характеристикам среди разных видов (таблица 14).

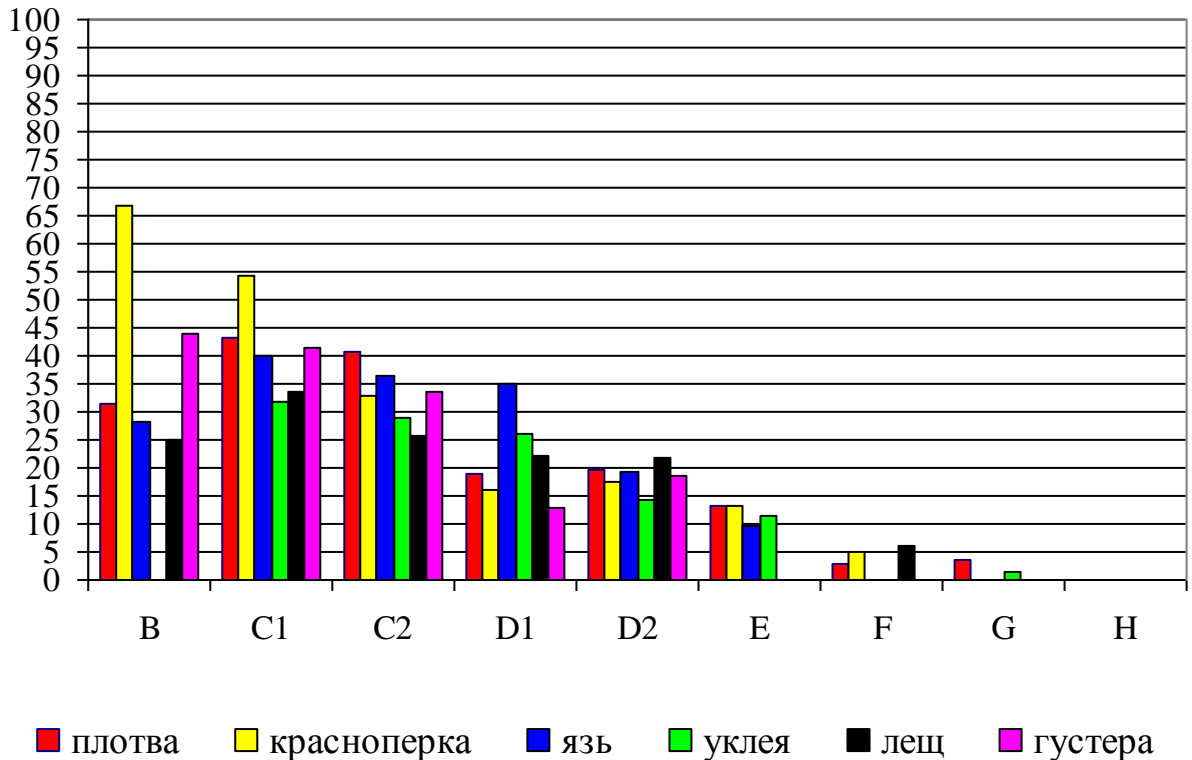
Каждая стадия личиночного и малькового развития отличается особенностями формирования тех или иных морфологических признаков. Как правило, формирование основных или наиболее важных органов и их систем у карповых рыб (органы чувств, плавники и т.д.) формируются уже на самых ранних стадиях развития предличинок и ранних личинок (А – С<sub>1</sub>), а на последующих стадиях развития происходит лишь их развитие и дифференцировка. Любые негативные воздействия, в том числе загрязнения, оказывают отрицательное воздействие, прежде всего, на стадии бластуляции и гастрюляции икры, когда происходит закладка всех морфологических признаков будущей личинки.

**Таблица 14.** Характеристика периодов и этапов личиночного и малькового развития рыб (на примере карповых рыб: по А.Ф. Коблицкой, 1981)

Стадия развития	Особенности строения организма на разных стадиях развития
<b>I ПЕРИОД – ПРЕДЛИЧИНКИ</b>	
A	Большой желточный мешок. Плавниковая складка почти не дифференцирована. Плавательный пузырь без воздуха.
B	Желточный мешок еще сохраняется. Плавниковая складка начинает дифференцироваться на спинную, хвостовую и брюшную части. Плавательный пузырь наполнен воздухом.
<b>II ПЕРИОД – РАННИЕ ЛИЧИНКИ</b>	
C <sub>1</sub>	Желточного мешка нет. Появляются небольшие сгущения мезенхимы в спинном и подхвостовом отделах каймы, а также в нижней подхвостовой лопасти.
C <sub>2</sub>	В нижней хвостовой лопасти развиваются первые мезенхимные лучи, направленные косо вниз. Конец хорды слегка загибается вверх. В спинном и анальном плавниках хорошо заметны сгущения мезенхимы.
D <sub>1</sub>	Задний конец хорды направлен вверх. В хвостовом плавнике костные лучи. Хвостовой плавник слабовыемчатый, над ним образуется перепончатая лопасть. В спинном и анальном плавниках появляются мезенхимные лучи.
<b>III ПЕРИОД – ПОЗДНИЕ ЛИЧИНКИ И РАННИЕ МАЛЬКИ</b>	
D <sub>2</sub>	Хвостовой плавник выемчатый. В спинном и анальном плавниках развиваются костные лучи. Есть зачатки брюшных плавников, не выходящие за пределы плавниковой складки. Плавательный пузырь двухкамерный.
E	Лучи развиты во всех плавниках. Брюшные плавники выходят за края плавниковой складки.
F	На хвосте и вдоль боковой линии появляется чешуя. Обонятельные ямки еще не разделены перегородкой. Преанальная плавниковая складка к концу стадии полностью исчезает.
G	Все тело покрыто чешуей. Обонятельная ямка разделена перегородкой.
<b>IV ПЕРИОД – МАЛЬКИ, СЕГОЛЕТКИ</b>	
H	Все тело сформировано. Особи напоминают взрослых рыб, отличаются от них пропорциями отдельных частей тела, размерами головы, глаз и т.п.

Реализация же тех или иных морфологических аномалий происходит по мере формирования различных морфологических признаков в процессе онтогенеза в соответствии с таблицей 14. Так как проявление большинства

основных морфологических признаков происходит на стадиях  $C_1$ ,  $C_2$  и  $D_1$ , то и встречаемость аномальных особей наиболее велика на данных стадиях развития. Данные рисунка 25 полностью подтверждают данную тенденцию.



**Рисунок 25.** Встречаемость аномальных особей среди шести видов рыб Саратовского водохранилища на разных стадиях личиночного и малькового развития (%).

У молоди всех шести обследованных массовых видов рыб Саратовского водохранилища за весь период исследования (1995-2013 гг.) наблюдается постепенное понижение доли аномальных особей от самых ранних стадий личиночного развития – В и  $C_1$ , до поздних стадий малькового развития – F и G. Среди мальков-сеголеток (стадия H) особей с нарушениями морфологии вовсе не обнаружено. У язя и густеры уже на стадиях F и G (поздние личинки и ранние мальки) не встречается аномальных особей.

На самых ранних стадиях личиночного развития (В и  $C_1$ ) у молоди всех шести видов рыб встречаемость аномальных особей достигает максимальных значений: у красноперки – 66,7 (В) и 54,3% ( $C_1$ ), у плотвы – 31,3 (В) и 43,2%

(C<sub>1</sub>), у язя – 28,2 (B) и 40,2% (C<sub>1</sub>), у леща – 25,0 (B) и 33,4% (C<sub>1</sub>), у густеры – 43,8 (B) и 41,4% (C<sub>1</sub>) и у уклей – 31,9% (C<sub>1</sub>).

Некоторое повышение встречаемости аномальных личинок от стадии развития В к стадии С<sub>1</sub> среди плотвы, язя и леща, 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 от более ранних стадий развития к более поздним происходит по двум основным причинам:

Во-первых, в результате элиминации особей с морфологическими аномалиями (естественная смертность нежизнеспособных особей, выедание хищниками и т.д.) из-за их пониженной жизнеспособности;

Во-вторых, в результате понижения вероятности возникновения различных морфологических нарушений у особей на более поздних стадиях развития (D<sub>2</sub>–G).

В итоге (рисунок 25), на заключительных стадиях малькового развития (F и G) встречаемость аномальных особей среди разных видов рыб находится в пределах условно принятой нормы для благополучных природных популяций (5,0%): 3,0 (F) и 3,57% (G) – плотва, 5,0 (F) и 0,0% (G) – красноперка, 0,0 (F) и 1,3% (G) – уклей, либо незначительно превышает эту величину – 6,3% (лещ на стадии F).

Как правило, у поздних мальков (стадии F и G) обнаруживаются нарушения морфологии, не влияющие существенно на жизнеспособность особей, и сохраняется вероятность доживания таких рыб до взрослого, половозрелого состояния, однако, среди мальков-сеголеток (стадия H) всех шести видов карповых рыб Саратовского водохранилища за весь период исследования аномальных особей не обнаружено.

Аналогичная тенденция характерна и для встречаемости определенного количества аномалий у отдельной особи на разных стадиях развития. Наблюдается не только снижение встречаемости особей с морфологическими аномалиями, но и числа нарушений приходящихся на одну особь от ранних личиночных стадий развития к поздним мальковым. Картина распределения среднего показателя встречаемости аномалий у молоди рыб, полученная на основе анализа распределения нарушений морфологии у молоди рыб из всех обследованных водохранилищ Средней и Нижней Волги, соответствует закономерностям формирования тех или иных морфологических признаков в процессе личиночного развития (таблица 15).

**Таблица 15.** Встречаемость молоди рыб с разным количеством аномалий на одну особь на разных стадиях развития

Кол-во аномалий на одну особь	Встречаемость молоди рыб с разным количеством аномалий на одну особь на отдельных стадиях развития, %									
	A	B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	E	F	G	H
Одна	2,4	32,1	58,6	54,2	51,5	25,4	9,7	5,4	3,4	-
Две	-	-	5,7	4,5	6,3	3,9	0,8	-	-	-
Три	-	-	2,6	2,0	2,3	1,5	0,4	-	-	-
Четыре	-	-	0,9	1,0	1,9	0,9	-	-	-	-
Пять и >	-	-	0,6	0,6	0,9	0,4	-	-	-	-
Нет аномалий	97,6	67,9	31,4	37,8	37,6	67,8	89,0	94,6	96,6	100,0

Примечание: «-» – молоди с данным количеством аномалий на одну особь на данной стадии развития не обнаружено.

Выраженная тенденция уменьшения показателя встречаемости аномалий по мере развития личинок рыб может быть обусловлена только тем, что определенная часть организмов, являющихся носителями тех или иных морфологических нарушений, элиминирует, так как эти дефекты эмбрионального развития не совместимы с их жизнеспособностью. Данные таблицы 15 в определенной мере подтверждают это предположение. На стадиях развития A и B (предличинки) у каждой особи рыб из числа больных отмечалось лишь по одному дефекту в развитии, в то время как у 97,6 и 67,9% особей морфологических аномалий совсем не обнаружено. Это

объясняется тем, что на данных стадиях развития у личинок еще не происходит формирования и дифференцировки большинства важных морфологических признаков (непарных плавников, некоторых внутренних органов, органов чувств и т.д.) (согласно таблице 14). Особи питаются эндогенно (за счет запасов желточного мешка) и малоподвижны, в результате чего воздействие внешних неблагоприятных факторов на рыб менее выражено. В то же время потенциальные нарушения морфологии, заложенные в эмбриогенезе при воздействии мутагенов, еще не проявились, так как не сформированы сами потенциально пораженные органы.

Более ранними исследованиями эмбриогенеза рыб было установлено, что каждый эмбриональный зачаток и развивающийся из него орган имеют период повышенной чувствительности к повреждающим факторам (свой критический период), и действие этих факторов нарушает нормальный ход эмбриогенеза и постэмбрионального развития<sup>2</sup> (Журавлева, 2009).

Начиная со стадии  $C_1$  и до этапа  $D_2$ , когда молодь большинства видов рыб переходит на внешнее питание и начинают формироваться многие морфологические признаки (непарные и парные плавники, плавательный пузырь, глазные яблоки окончательно формируются), у личинок может встречаться до пяти аномалий на одну особь (таблица 15), так как по мере формирования внешних морфологических признаков проявляются и нарушения, заложенные ранее в эмбриогенезе. Данные периоды личиночного развития, прежде всего  $C_1$  и  $C_2$ , считаются критическими, именно в этот период проявляются не только морфофункциональные нарушения, заложенные в эмбриогенезе при воздействии неблагоприятных факторов, но и сами особи являются наиболее чувствительными к присутствующим в воде в данный момент загрязнителям. При этом наибольшую долю среди числа

---

<sup>2</sup> По нашему мнению, в данном случае необходимо учитывать то обстоятельство, что воздействие повреждающего фактора на эмбриональное развитие организма может проявляться по-разному. В одном случае, влияние неблагоприятных факторов может вызывать гибель молоди рыб (в практике рыбоводства известны случаи 100% гибели икры, эмбрионов из-за нарушений технического процесса), в другом – появление аномалий, при которых организм может определенное время существовать.



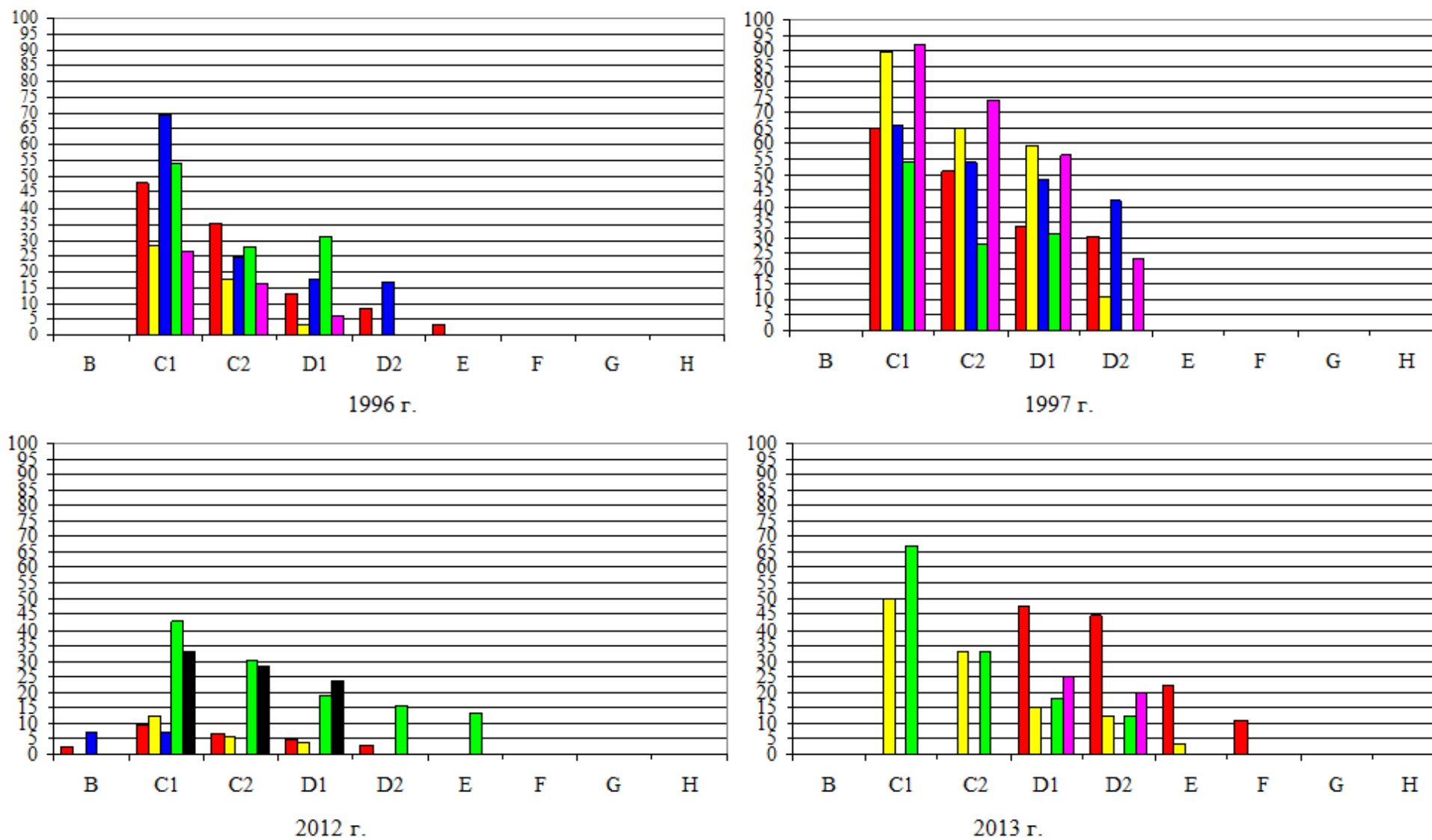
особей с аномалиями составляют ранние и поздние личинки с единственным морфологическим нарушением, а число рыб с двумя, тремя и четырьмя типами аномалий на одну особь значительно снижается до минимального количества личинок с пятью аномалиями на одну особь.

Уже на стадии развития Е особи с пятью и четырьмя аномалиями не встречаются, а доля рыб с тремя и двумя морфологическими нарушениями составляет меньше процента, тогда как на последующих мальковых стадиях (F, G) таких особей уже не встречается. Количество ранних мальков с одной аномалией на одну особь также понижается от стадии Е к стадии G от 9,7% до 3,4%, что соответствует общей тенденции снижения количества аномальных особей от ранних стадий личиночного развития к поздним мальковым. Среди мальков-сеголеток (H) нами не обнаружено особей с морфологическими аномалиями на протяжении всего периода исследования, что также является свидетельством практически полной элиминации особей с морфологическими аномалиями.

Аналогичная тенденция наблюдается у молоди разных видов рыб Саратовского водохранилища в отдельные годы (рисунок 26). Как в более ранние годы исследования – 1996 и 1997 гг., так и в последний период исследования – 2012 и 2013 гг., среди молоди всех обследованных видов рыб аномальные особи перестают обнаруживаться на стадиях развития F, G – поздние мальки, и H – мальки-сеголетки.

Исключение составили мальки плотвы с морфологическими отклонениями, встречаемость которых в 2013 г. на стадии F составила 11,1%, однако, на последующих стадиях развития аномальных особей также не встречено. На стадии развития Е – ранние мальки, аномальные особи обнаруживались также не среди всех обследованных видов рыб, и их встречаемость в ряде случаев не превышала условно принятой нормы: плотва (1996 г.) – 3,4%, красноперка (2013 г.) – 3,4%.

В других двух случаях процент аномальных особей на стадии развития Е был достаточно высоким – 13,1% (уклея 2012 г.) и 24,4% (плотва 2013 г.).

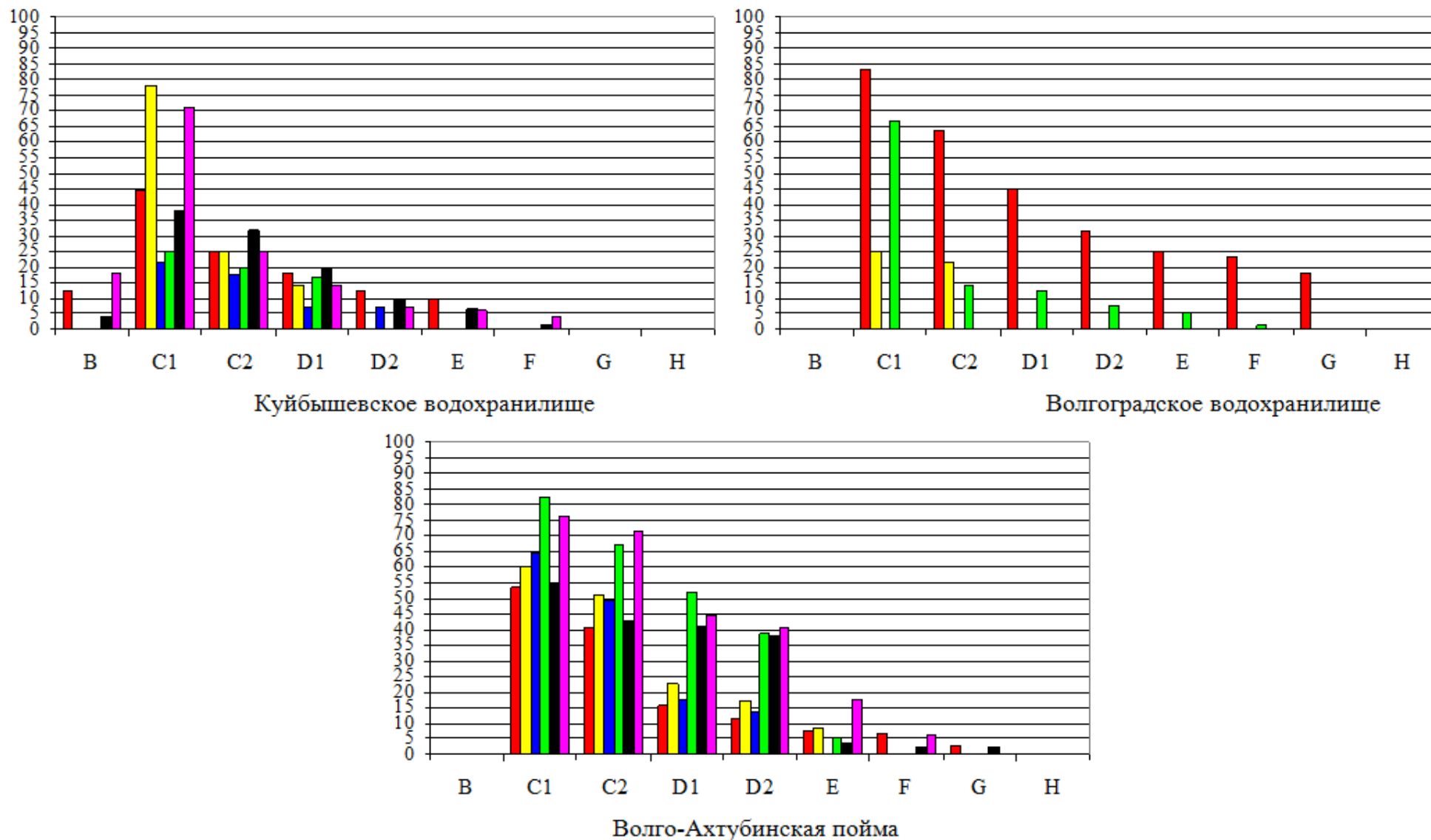


**Рисунок 26.** Встречаемость аномальных особей среди шести видов рыб Саратовского водохранилища на разных стадиях личиночного и малькового развития в отдельные годы (%) (обозначения как на рисунке 25).

При сохранении тенденции уменьшения встречаемости аномальных особей от более ранних стадий развития к более поздним с последующим исчезновением их на стадиях F–H среди всех представленных видов рыб. Подтверждается также тенденция более высокой встречаемости аномальных личинок и мальков разных видов в периоды более высокого уровня загрязнения Саратовского водохранилища.

Так в 1997 г., когда среднегодовая встречаемость аномальной молодежи рыб по всему Саратовскому водохранилищу составляла 57,8% (таблица 6, глава 3.2.1) среди личинок и мальков рыб на разных стадиях развития встречаемость аномальных особей достигала высоких значений. У густеры процент аномальных особей достигал 91,7 (C<sub>1</sub>) и 73,8% (C<sub>2</sub>), у красноперки – 89,5 (C<sub>1</sub>) и 65,1% (C<sub>2</sub>) (рисунок 26). Среди молодежи других видов доля аномальных особей на разных стадиях развития также очень высока. Напротив, в 2012 г., когда средняя встречаемость аномальной молодежи рыб в Саратовском водохранилище не превышала 10,1% (таблица 7, глава 3.2.1), доля аномальных особей среди разных видов рыб на разных стадиях развития была существенно ниже, чем в 1997 г. Среди молодежи язя в 2012 г. наблюдалась наиболее низкая встречаемость аномальных особей: от 7,4 (стадия B) до 6,9% (стадия C<sub>1</sub>), а на более поздних стадиях развития аномальных личинок и мальков не обнаруживалось. Несколько выше данные показатели у красноперки и плотвы: 12,5 (C<sub>1</sub> – красноперка) и 9,3% (C<sub>1</sub> – плотва), 3,9 (D<sub>1</sub> – красноперка) и 2,6% (D<sub>2</sub> – плотва). Наиболее высокая встречаемость аномальных особей наблюдалась среди уклей – 42,9 (C<sub>1</sub>), 30,3 (C<sub>2</sub>), 18,8 (D<sub>1</sub>), 15,5 (D<sub>2</sub>) и 13,1% (E).

В водоемах с различающимся уровнем антропогенной нагрузки, какими являются волжские водохранилища, их притоки разного порядка, водоемы Волго-Ахтубинской поймы, тенденция, описанная выше, сохраняется (рисунок 27). У мальков-сеголеток (H) разных видов рыб из водохранилищ и водоемов Волго-Ахтубинской поймы аномальных особей не обнаружено.

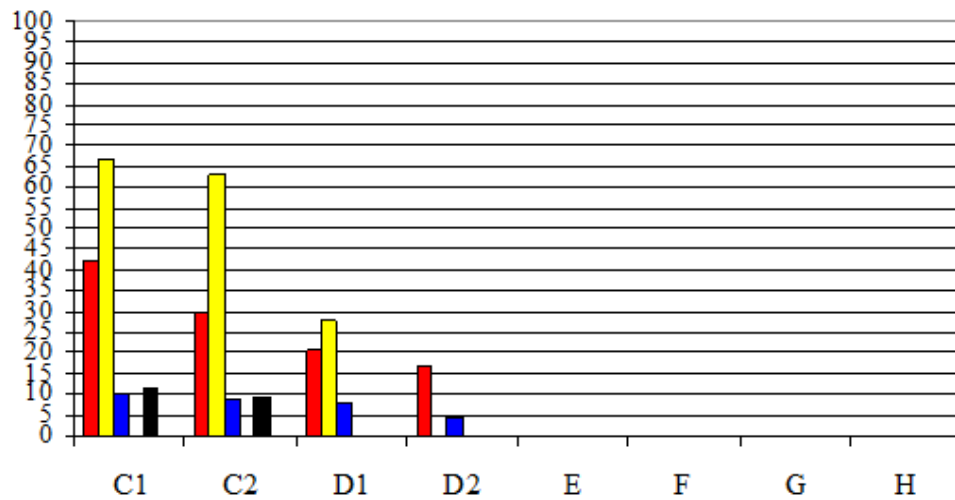


**Рисунок 27.** Встречаемость аномальных особей среди рыб на разных стадиях личиночного и малькового развития в водохранилищах Средней и Нижней Волги (%) (обозначения как на рисунке 25).

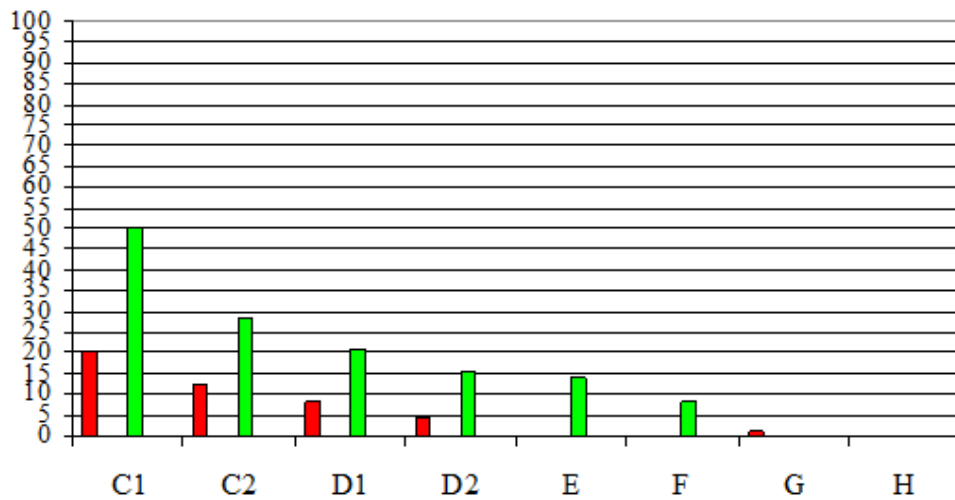
Минимальна доля поздних мальков (G) среди плотвы (2,8%) и леща (2,3%) Волго-Ахтубинской поймы. В Куйбышевском водохранилище среди мальков на стадии G аномальных особей не обнаружено. В то же время среди молоди на ранних стадиях развития ( $C_1$ – $C_2$ ) число аномальных особей велико (рисунок 27). Так среди красноперки и густеры Куйбышевского водохранилища на стадии развития  $C_1$  зафиксировано 78,3 и 71,1% аномальных особей, соответственно, среди плотвы и уклейи Волгоградского водохранилища – 83,3 и 66,7%, среди уклейи и густеры Волго-Ахтубинской поймы – 82,4 и 76,5%. Однако к стадиям развития G и H происходит постепенное снижение встречаемости аномальных особей вследствие элиминации.

В исследованных притоках Саратовского и Куйбышевского водохранилища среди молоди рыб разных возрастов (стадий развития) выявлена аналогичная тенденция постепенного понижения встречаемости особей с морфологическими отклонениями от ранних стадий личиночного развития ( $C_1$ – $C_2$ ) к более поздним стадиям малькового развития (F–G), при полном отсутствии аномальных рыб среди мальков-сеголеток. Различия наблюдаются лишь в доминировании молоди отдельных видов рыб в разных реках. Так в притоке Куйбышевского водохранилища р. Позимь массовыми были плотва, красноперка, язь и лещ, а в р. Большой Черемшан только плотва и уклейя. В р. Самара (приток Саратовского водохранилища первого порядка) наиболее массовыми были только два вида рыб – уклейя и лещ, а в р. Сок (приток Саратовского водохранилища первого порядка) в массе обнаружена молодь всех видов рыб кроме леща (рисунок 28).

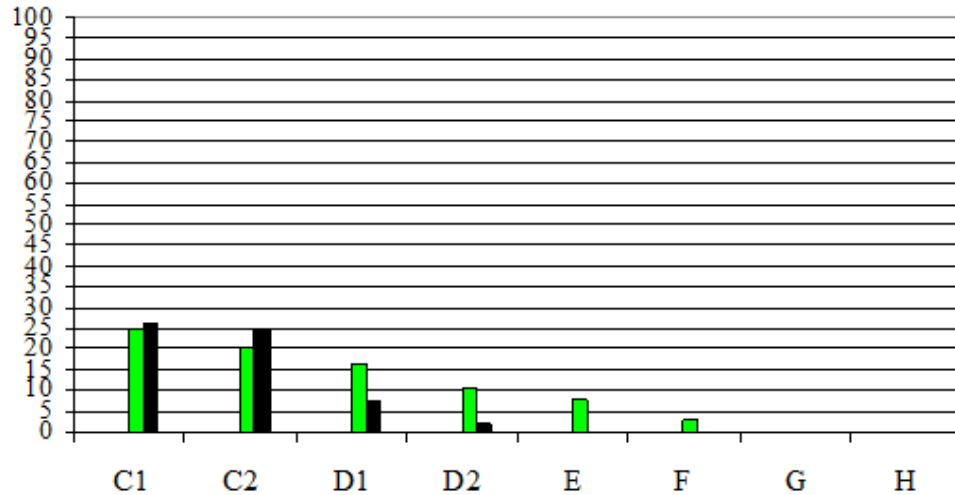
Среди молоди рыб из р. Позимь (приток Куйбышевского водохранилища третьего порядка) аномальные особи перестают обнаруживаться уже на стадии развития E (ранние мальки), однако среди личинок на самой ранней стадии развития ( $C_1$ ), обнаруженной в данном водоеме, доля аномальных особей среди некоторых видов рыб достигает 66,7 (красноперка) и 42,1% (плотва).



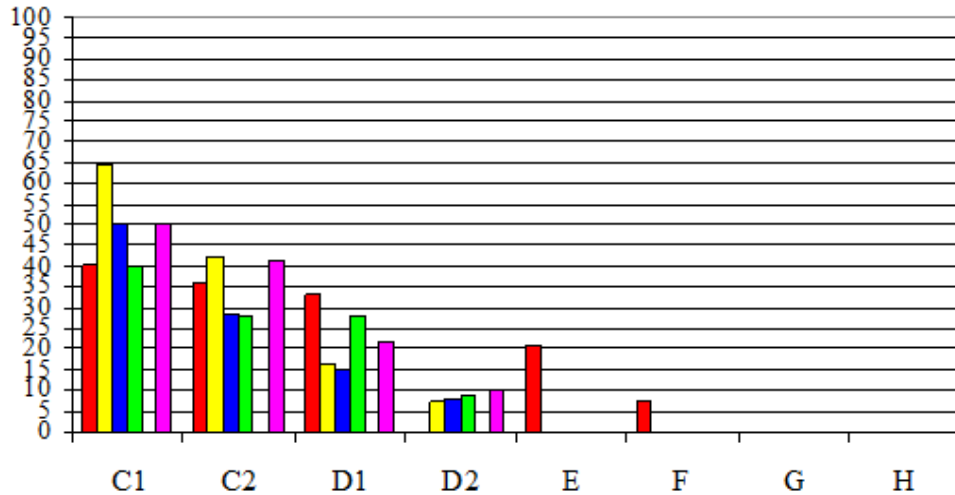
р. Позимь (Куйбышевское водохранилище)



р. Большой Черемшан (Куйбышевское водохранилище)



р. Самара (Саратовское водохранилище)



р. Сок (Саратовское водохранилище)

**Рисунок 28.** Встречаемость аномальных особей среди рыб на разных стадиях личиночного и малькового развития в притоках Саратовского и Куйбышевского водохранилищ (%) (обозначения как на рисунке 25).

Аналогичная встречаемость аномальных особей наблюдалась и среди ранних личинок рыб ( $C_1$ ) в устьевом участке р. Сок (приток Саратовского водохранилища первого порядка): плотва – 40,5, красноперка – 64,3, язь – 50,0, укляя – 40,0, густера – 49,9%. Но на стадиях развития E-H, аномальных особей среди красноперки, язя, уклейи и густеры уже не обнаруживается. Наиболее низкая встречаемость аномальных личинок рыб на стадии развития  $C_1$  зафиксирована среди уклейи (25,0%) и леща (26,1%) из р. Самара с плавным снижением доли особей с нарушениями морфологии к стадиям малькового развития (E-F) (рисунок 28). На стадиях G и H аномальных мальков не встречено.

Для всех исследованных водоемов и водотоков: Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского водохранилищ, их основных притоков, водоемов Волго-Ахтубинской поймы, динамика плавного снижения встречаемости молоди рыб с нарушениями морфологии от стадий личиночного развития к мальковым стадиям является аналогичной, что позволяет считать данную тенденцию закономерной для водоемов и водотоков с различающимся гидрологическим режимом и различным уровнем антропогенной нагрузки. Если доля аномальных особей на ранних личиночных стадиях велика, то она, как правило, велика среди всех обследованных массовых видов рыб, и наоборот. В то же время, среди мальков на разных стадиях развития (E-G) и среди мальков-сеголеток (H) процент аномальных особей минимален также среди всех обследованных видов рыб, либо рыб с нарушениями морфологии не обнаруживается.

Таким образом, в силу своей пониженной жизнеспособности, особи разных видов рыб с различными типами морфологических нарушений подвержены элиминации в одинаковой степени. Однако, морфологические аномалии, обнаруженные у молоди рыб, характеризуются определенным разнообразием и, соответственно, различающимся характером воздействия на отдельную особь в зависимости от типа морфологического нарушения, его локализации, степени тяжести (летальности) и т.д. Так как среди мальков и

мальков-сеголетков аномальных особей не встречено, то можно предположить, что все обнаруженные типы аномалий необратимы и летальны.

### **3.3. Основные закономерности встречаемости различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из изученных водоемов и водотоков**

Все обнаруженные у молоди рыб морфологические аномалии условно разделены нами на восемь групп в соответствии с характером локализации, степенью выраженности, спецификой нарушения органов и тканей. Вследствие большого разнообразия обнаруженных морфологических нарушений (73 типа), представляется довольно затруднительным проследить и описать динамику встречаемости каждого морфологического нарушения как у молоди рыб разных видов, так и у представителей разных возрастных групп, однако, выявление динамики распределения отдельных групп морфологических аномалий не вызывает затруднений. Не до конца проясненной остается и специфика распределения различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из обследованных водоемов и водотоков. Так в Куйбышевском водохранилище доминирующими являются нарушения одной группы, в Саратовском и Волгоградском – аномалии другой группы и т.д..

В то же время, подобный подход позволяет достоверно отследить распределение отдельных групп аномалий среди молоди разных видов рыб в каждом водоеме и водотоке и выявить некоторые закономерности данного процесса.

#### **3.3.1. Встречаемость основных групп морфологических аномалий у молоди шести массовых видов рыб Саратовского водохранилища**

Среди молоди шести массовых видов рыб Саратовского водохранилища распределение восьми групп морфологических аномалий не



имеет существенных различий. Наиболее часто встречающимися морфологическими аномалиями у всех шести видов рыб являются нарушения пигментации тела, среди других групп морфологических аномалий их доля варьирует от 49,2 (уклея) до 69,1% (лещ). Аномалии, отнесенные нами к группе нарушений морфологии глаз, составляют от 15,4 (лещ) до 21,4% (плотва) среди всех обнаруженных нарушений морфологии (рисунок 29).

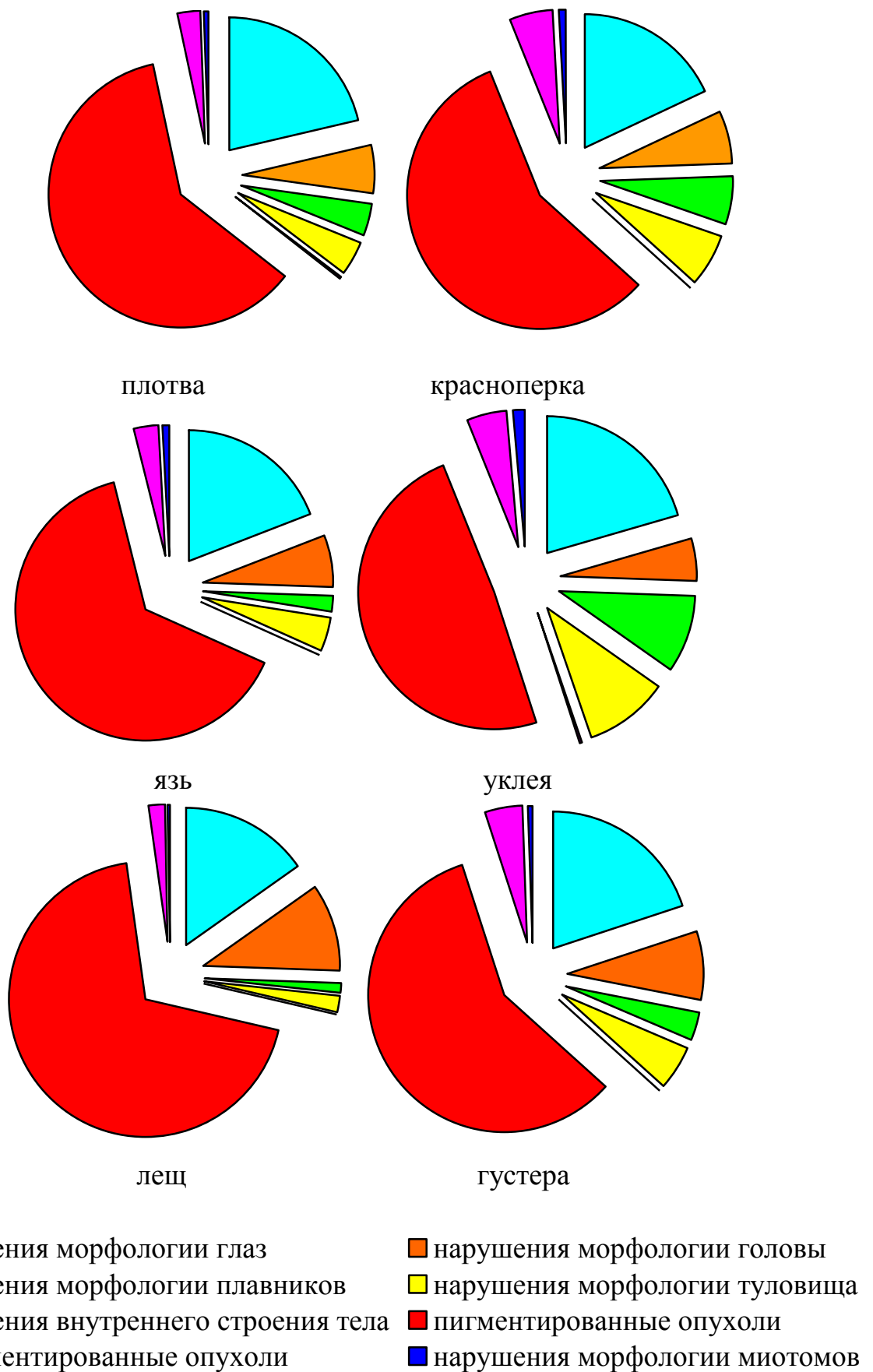
Встречаемость нарушений морфологии головы, нарушений морфологии плавников, нарушений морфологии туловища и непигментированных наружных опухолей находится примерно на одинаковом уровне у молоди всех обследованных видов рыб. Нарушения морфологии головы, включающие в себя 14 типов морфологических аномалий, составляют от 5,8% среди плотвы до 10,1% среди леща.

Встречаемость нарушений морфологии плавников (20 типов) среди аномалий других групп составила от 1,2 (лещ) до 9,2% (уклея). Нарушения морфологии туловища, включающие в себя различные искривления и недоразвития позвоночника, встречаются у разных видов с той же частотой: от 1,9 (лещ) до 9,9% (уклея).

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 уклеи (0,04%).

Нарушения морфологии миотомов: пигментированные и непигментированные опухоли внутри миотомов, дефекты и некрозы миотомов, зафиксированы у молоди всех шести видов рыб, однако, в силу высокой летальности этих нарушений, их доля среди других видов нарушений минимальна – от 0,4% у леща до 1,5% у уклеи.

Таким образом, встречаемость основных групп морфологических аномалий и отдельных типов нарушений морфологии не зависит от видовой принадлежности особей.



**Рисунок 29.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий среди молодежи шести видов рыб Саратовского водохранилища в 1995-2014 гг.

У молоди всех шести видов карповых рыб Саратовского водохранилища соотношение разных групп морфологических аномалий практически аналогично.

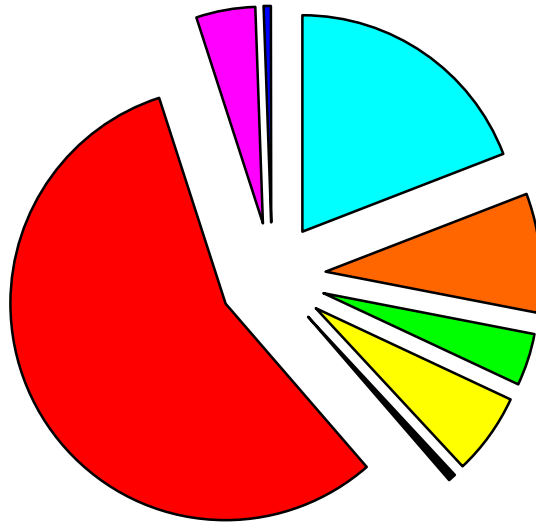
В водоемах с различающимся гидрологическим режимом и различным уровнем антропогенной нагрузки соотношение групп морфологических аномалий у молоди рыб может различаться, однако, среди представителей разных видов из одного водоема встречаемость разных групп нарушений морфологии не имеет существенных различий.

### **3.3.2. Встречаемость основных групп морфологических аномалий в водоемах с различающимся гидрологическим режимом и уровнем антропогенного загрязнения**

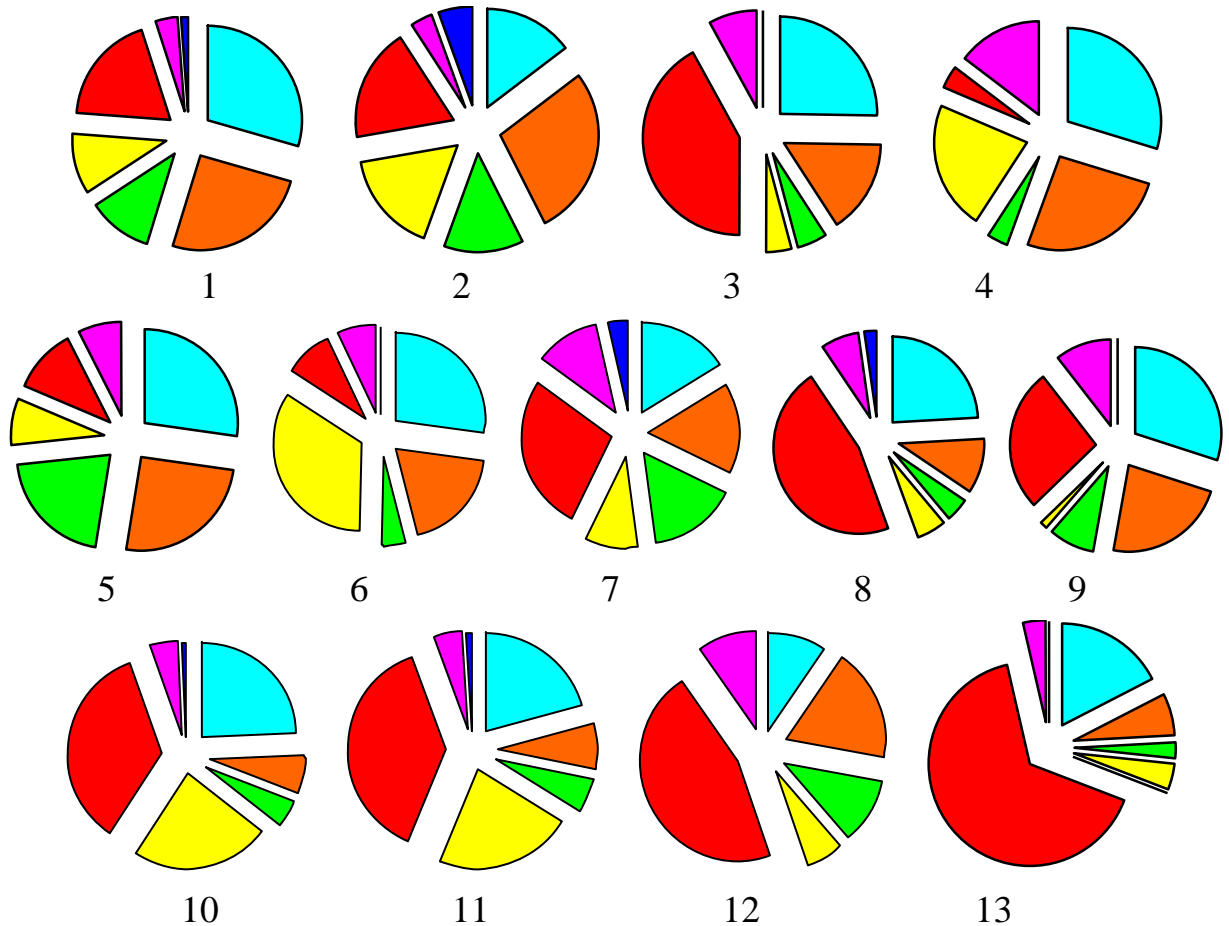
У молоди рыб Саратовского водохранилища из акваторий с наибольшим скоплением личинок и мальков за весь период исследования обнаружены морфологические аномалии, относящиеся к восьми основным группам (рисунок 30).

Более половины всех обнаруженных аномалий составляли нарушения пигментации тела –  $56,9 \pm 0,49\%$ . Группа нарушений морфологии глаз находилась на втором месте по встречаемости –  $19,4 \pm 0,39\%$ . Доля нарушений морфологии головы и аномалий туловища, зафиксированных за все время исследования, не превышала  $8,8 \pm 0,28\%$  и  $6,2 \pm 0,24\%$  соответственно.

Реже всего обнаруживались морфологические аномалии, относящиеся к непигментированным опухолям –  $4,4 \pm 0,20\%$ , и нарушениям морфологии плавников –  $3,9 \pm 0,19\%$  от общего числа обнаруженных нарушений. Нарушения морфологии миотомов и патологии внутренних органов в течение всего периода исследования (1995-2013 гг.) обнаруживались единично, их доля составила от  $0,3 \pm 0,06$  до  $0,02 \pm 0,01\%$  соответственно (рисунок 30).



Саратовское водохранилище 1995-2014 гг.



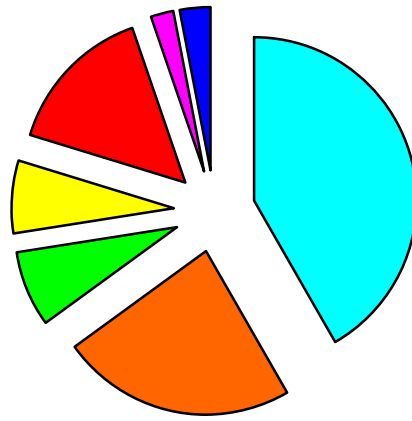
**Рисунок 30** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб Саратовского водохранилища из разных районов исследования (%): 1 – п. Федоровка; 2 – п-в Копылово; 3 – п. Зольное; 4 – Дом отдыха; 5 – п. Прибрежный; 6 – протока “Старый Мокрец”; 7 – п. Красная Глинка; 8 – устье р. Сок; 9 – г. Самара; 10 – устье р. Самара; 11 – Рождественско-Шелехметская пойма (один из входов в Змеиный затон); 12 – устье р. Чапаевка; 13 – с. Мордово (стационар, Мордовинско-Брусаянская пойма, о. Кольцовский, Васильевскте о-ва) (Обозначения секторов как на рисунке 29).

В разных районах Саратовского водохранилища наблюдалась неодинаковая картина встречаемости различных групп морфологических аномалий у молоди рыб за весь период исследования (рисунок 30). На 4 станциях – № 1, 4, 5 и 9, преобладающими являлись нарушения морфологии головы. На станции № 6 в течение всего периода исследований доминировали нарушения морфологии туловища. Для станции № 2 было характерно преобладание нарушений морфологии головы. В большинстве изученных районов (станции № 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13) у молоди рыб преобладали нарушения пигментации тела.

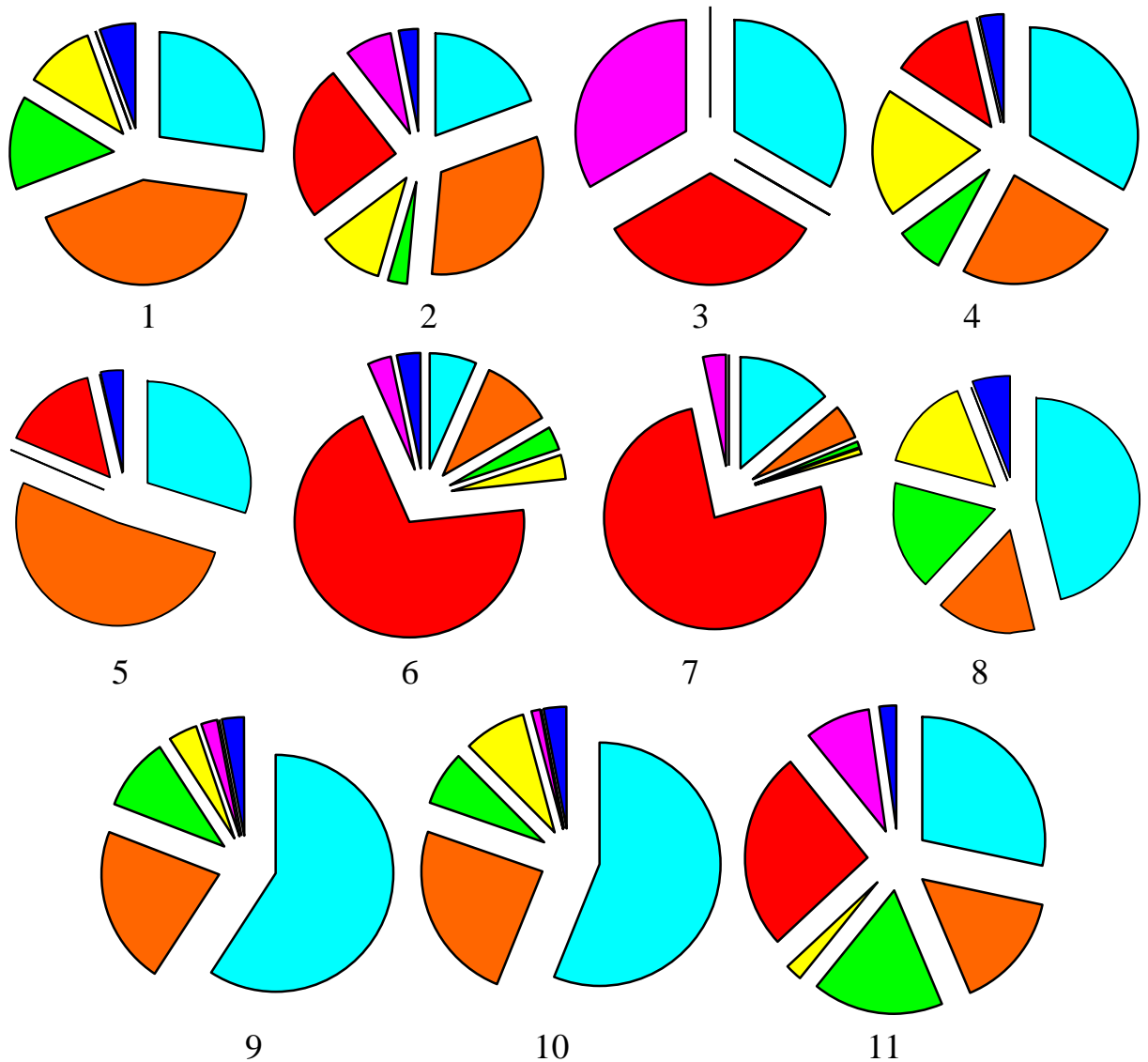
Все морфологические аномалии обнаруживались у молоди рыб независимо от ее видовой принадлежности. Сохранялось также соотношение основных групп морфологических аномалий среди разных видов рыб с отдельных станций исследования. Наиболее часто встречающимися морфологическими аномалиями являлись (в порядке убывания) нарушения пигментации тела, нарушения морфологии глаз, морфологии головы и морфологии туловища (за счет преобладания среди других групп нарушений на станции № 6 и высокой встречаемости на станциях № 4, 10 и 11).

У молоди рыб приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища за весь период исследования обнаружены морфологические аномалии, относящиеся к семи основным группам (рисунок 31). Преобладали нарушения морфологии глаз –  $41,5 \pm 1,30\%$ , и нарушения морфологии головы –  $23,6 \pm 1,12\%$ . Встречаемость морфологических аномалий, относящихся к группе нарушений пигментации тела, не превышала  $15,1 \pm 0,94\%$ , тогда как в Саратовском водохранилище и в водоемах Волго-Ахтубинской поймы нарушения пигментации тела являлись преобладающими аномалиями.

Доля нарушений морфологии плавников и аномалий туловища не превышала  $7,3 \pm 0,69\%$  для каждой группы за все время исследования. Реже всего обнаруживались морфологические аномалии, относящиеся к нарушениям морфологии миотомов –  $2,9 \pm 0,45\%$ , и непигментированные опухоли –  $2,2 \pm 0,38\%$  от общего числа обнаруженных нарушений.



Куйбышевское водохранилище в 1983-1997 гг.



**Рисунок 31.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб Куйбышевского водохранилища из разных районов исследования (%): 1 – вход в Сусканский залив; 2 – выше водозабора ВАЗа (от 100 до 1000 м); 3 – о. Екатериновский; 4 – залив (выход, Сомина яма); 5 – канал условно чистого стока; 6 – лесосплав; 7 – ниже условно чистого стока; 8 – о. Борок; 9 – полигон у с. Новодевичье; 10 – полигон (лагерь); 11 – яхт-клуб “Дружба” (Обозначения секторов как на рисунке 29).

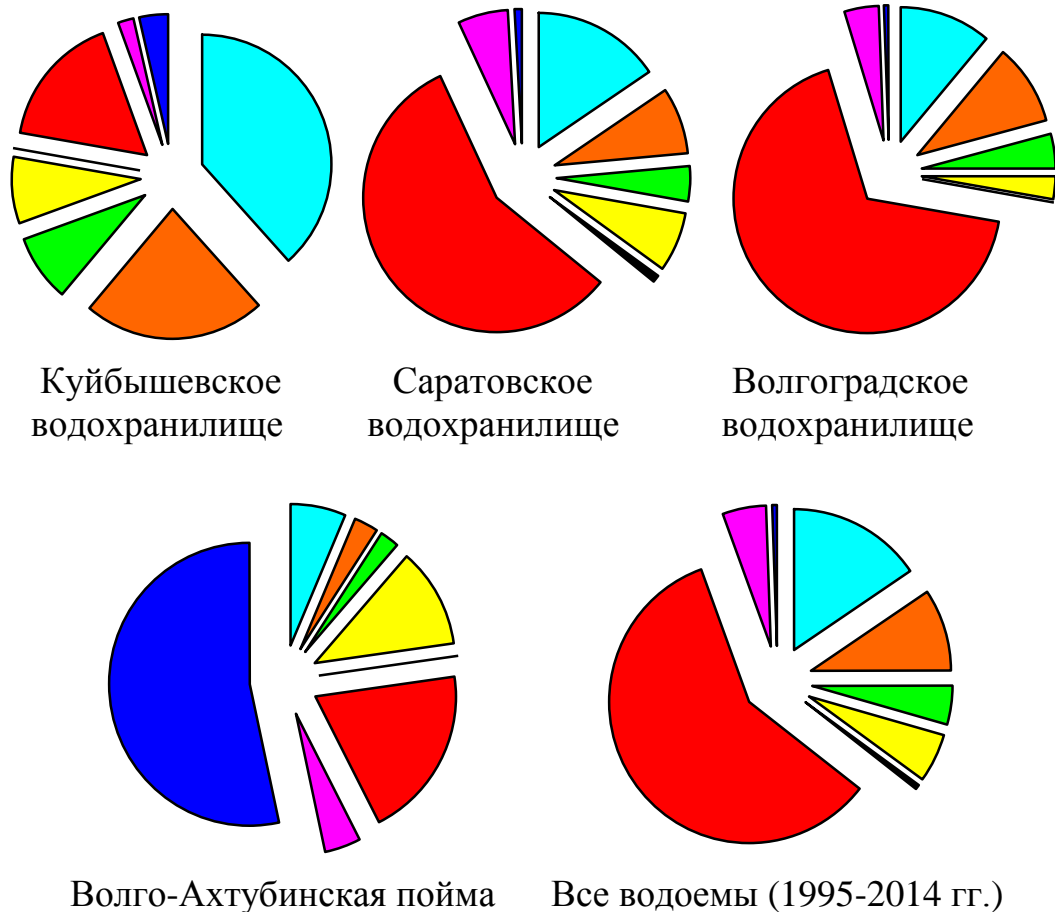
В разных районах Куйбышевского водохранилища, также как и в Саратовском водохранилище, наблюдалась неодинаковая картина встречаемости различных групп морфологических аномалий у молоди рыб за весь период исследования. На 3-х станциях – № 1,2 и 5, преобладающими являлись нарушения морфологии головы. На станциях № 6 и 7 в течение всего периода исследований доминировали нарушения пигментации тела.

В большинстве изученных районах (станции № 4, 8, 9, 10) у молоди рыб преобладали нарушения морфологии глаз.

На станции № 11 (яхт-клуб “Дружба”) доминирующими являлись две группы аномалий – нарушения морфологии глаз и нарушения пигментации тела, незначительно реже обнаруживались нарушения морфологии головы и плавников. В районе станции № 3 (о. Екатериновский) обнаружено всего две аномальных особи (таблица 2), которые являлись носителями трех видов морфологических аномалий из разных групп. Данным фактом и объясняется одинаковая доля нарушений морфологии глаз, нарушений пигментации тела и непигментированных опухолей на станции № 3 (рисунок 31).

В низовьях Куйбышевского водохранилища, как и в Саратовском, преобладающими являются морфологические аномалии трех групп: нарушения морфологии глаз, нарушения морфологии головы и нарушения пигментации тела.

В водоемах сходных по гидрологическому режиму (скорость течения, кислородный режим, грунты и т.д.) и уровню загрязнения, какими являются Саратовское и Волгоградское водохранилища, и картина встречаемости аномалий отдельных групп практически не различается (рисунок 32). В Саратовском и в Волгоградском водохранилищах преобладающими являются нарушения пигментации тела (57,6 и 67,5% соответственно) – пигментированные новообразования около одного или обоих глазных яблок, нарушения видоспецифичного пигментного рисунка тела, отсутствие пигментации глазного яблока и т.д..



**Рисунок 32.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из водоемов Средней и Нижней Волги в 1995-2014 гг. (%) (Обозначения секторов как на рисунке 29).

В Куйбышевском водохранилище и Волго-Ахтубинской пойме у молоди рыб обнаружены аномалии тех же восьми групп, однако доминирующими оказались нарушения морфологии глаз и нарушения морфологии миотомов соответственно (Минеев, 2013). К настоящему времени выявить достоверные причины данного различия не удалось, и существующая научная проблема требует отдельного более углубленного и длительного исследования.

Однако мы предполагаем, что одной из основных причин различий распределения морфологических аномалий разных групп как в разных водохранилищах Средней и Нижней Волги, так и в пределах одного водоема и водотока, является присутствие в воде такой группы загрязнителей как ХПК – химические потребители кислорода (трудноокисляемые органические

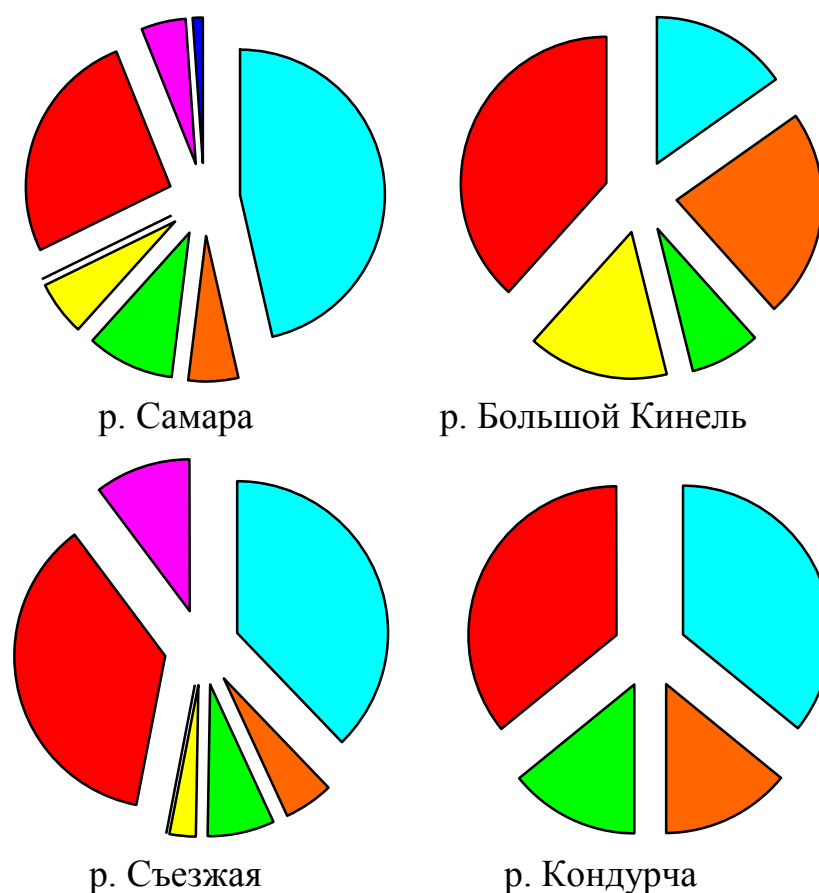


вещества). Эта группа загрязняющих веществ может содержать в себе до полутора тысяч химических соединений, однако анализ воды проводится лишь на общее содержание поллютантов данной группы. При этом невозможно учесть эффект воздействия каждого по отдельности из веществ данной группы на возникновение различных групп морфологических аномалий у молоди рыб. Невозможно также проанализировать каким образом вещества данной группы взаимодействуют между собой и между загрязнителями других групп, синергические и аддитивные эффекты при этом также непредсказуемы.

В то же время ХПК постоянно присутствуют в воде исследованных нами водоемов и водотоков. По данным таблицы 1 (глава 1) наиболее сходное максимальное и 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 32). По данным лаборатории мониторинга водных объектов ИЭВБ РАН в верховьях Саратовского водохранилища (2 км ниже Жигулевской ГЭС) содержание ХПК в воде стабильно превышает норму (15,0 мг/л – рыбохозяйственная ПДК) на протяжении последних десятилетий. Так в нерестовый период (май, июнь) 2007 г. содержание ХПК достигало 27,6 мг/л – 34,5 мг/л, что соответствует 1,84 и 2,3 ПДК, а минимальные значения фиксировались в мае 2008 г. – 22,2 мг/л (1,48 ПДК).

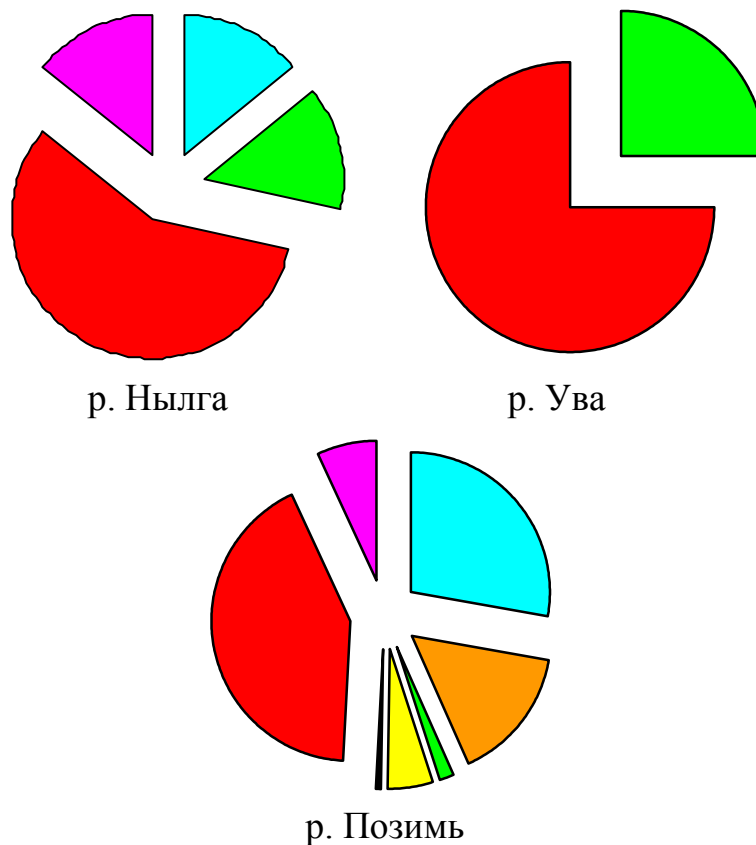
В притоках Саратовского водохранилища, характеризующихся относительно низким уровнем загрязнения, какими являются реки Кондурча, Съезжая и Большой Кинель, разнообразие обнаруживаемых у рыб морфологических аномалий и их групп заметно ниже, чем в самом водохранилище (рисунок 33) (Минеев, 2013). Но при этом доминирующими группами морфологических нарушений в данных реках остаются группы нарушений пигментации тела и нарушений морфологии глаз, как и в Саратовском водохранилище. В реке Самара нарушения морфологии глаз

встречаются у рыб почти в два раза чаще, чем нарушения пигментации тела. Почти в четверти случаев в р. Большой Кинель и Кондурча у молоди рыб обнаруживаются нарушения морфологии головы.



**Рисунок 33.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из основных притоков Саратовского водохранилища (%) (Обозначения секторов как на рисунке 29).

В притоках Куйбышевского водохранилища пятого порядка р. Нылга и р. Ува (Удмуртская республика), не испытывающих существенной антропогенной нагрузки, разнообразие обнаруженных у молоди рыб морфологических аномалий невелико или сведено к минимуму. Так при 4,2% аномальных особей среди молоди р. Нылга обнаружено всего четыре типа морфологических аномалий, относящихся к четырем группам (рисунок 34), а в р. Ува при 3,0% аномальных личинок рыб зафиксировано всего два типа морфологических аномалий, относящихся к двум группам (Минеев, Калинин, 2013).



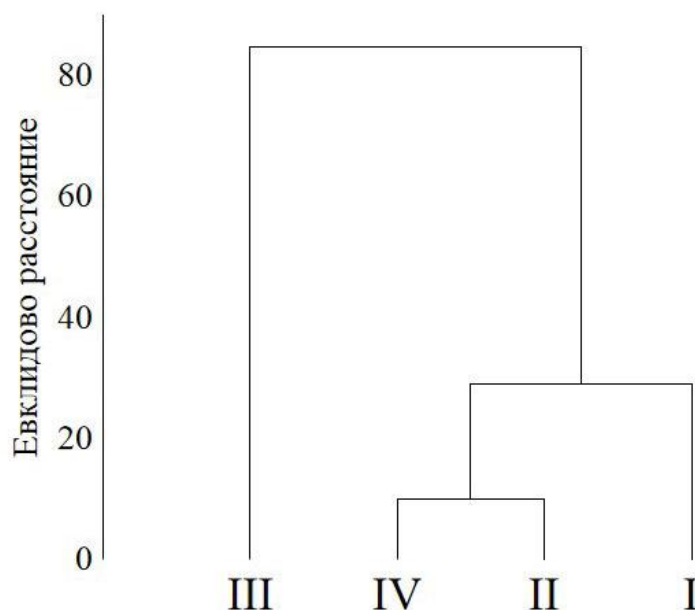
**Рисунок 34.** Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища (%) (Обозначения секторов как на рисунке 29).

В обоих случаях доминирующими оказались пигментированные опухоли и нарушения пигментации тела. В обеих реках отсутствовали такие загрязнители как ХПК, нефтепродукты, фенолы, нитраты и нитриты, марганец и медь (таблица 1: глава 1).

Другая ситуация наблюдалась в р. Позимь, которая является притоком Куйбышевского водохранилища третьего порядка. В черте г. Ижевск, где отбирались пробы молоди рыб, водоток испытывает значительную антропогенную нагрузку. При  $22,5 \pm 0,95\%$  аномальных особей в пробах, зафиксировано семь групп морфологических аномалий, среди которых наиболее часто встречались нарушения пигментации тела ( $42,5 \pm 1,95\%$ ), нарушения морфологии глаз ( $27,9 \pm 1,77\%$ ) и нарушения морфологии головы ( $15,7 \pm 1,44\%$ ) (рисунок 34). Подобное соотношение наблюдалось и в таких

загрязненных водоемах как Саратовское и Волгоградское водохранилища (рисунок 32).

Таким образом, в водоемах и водотоках с одинаковым, или сравнимым, уровнем антропогенной нагрузки возможно сходное разнообразие и соотношение разных групп морфологических аномалий. Данная тенденция подтверждается результатами кластерного анализа (рисунок 35).



**Рисунок 35.** Дендрограмма сходства (по Брею-Кёртису) разнообразия групп обнаруживаемых морфологических аномалий в водоемах с различным уровнем загрязнения (обозначения как на рисунке 24).

Наибольшим сходством по количеству групп морфологических аномалий характеризуются водоемы и водотоки с высоким и средним уровнем загрязнения. Так водохранилища (I) сходны на 93% с р. Позимь (IV), уровень загрязнения которой сопоставим с таковым в водохранилищах.

В то же время, сходство водоемов I группы с реками Нылга и Ува (III), не испытывающих выраженной антропогенной нагрузки, характеризуется всего в 57% (средний уровень сходства, являющийся в данной дендрограмме наименьшим) (рисунок 35). Несколько выше среднего – 67% уровень сходства среднезагрязненных притоков водохранилищ 1-го и 2-го порядка (II) и малозагрязненных рек Нылга и Ува (III), при почти 100% сходстве по встречаемости групп морфологических аномалий притоков водохранилищ 1-го и 2-го порядка с загрязненной р. Позимь (кластер II-IV) (рисунок 35).

Исследования молоди рыб показали, что в экологических условиях волжских водохранилищ – Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского, их притоков разного порядка, водоемов Волго-Ахтубинской поймы, личинки и мальки большинства видов рыб, как массовых аборигенных, так и редко встречающихся видов, подвержены сильному воздействию комплексных загрязнений. Об этом свидетельствует высокая встречаемость аномальных особей (иногда в десятки раз превышающая значение условно принятой нормы для благополучных природных популяций – 5,0%) как на отдельных станциях во всех исследованных водоемах и водотоках, так и по среднегодовым показателям для всей акватории.

Несмотря на очаговый характер большинства видов загрязнений, присутствующих в воде изученных водоемов, количество таких очагов загрязнения велико во всех волжских водохранилищах, в результате высока и доля аномальных личинок и мальков, прежде всего, в районах крупных населенных пунктов, промышленных центров, объектов транспортной и энергетической инфраструктуры, активной сельскохозяйственной деятельности и т.д.

Велико и разнообразие обнаруживаемых у молоди рыб типов различных морфологических аномалий, которые могут затрагивать важнейшие системы органов и тканей организма. За весь период исследования нами обнаружено 73 типа таких нарушений морфологии, относящихся к восьми основным группам по степени локализации, характеру воздействия на структуры организма и интенсивности патологического процесса (см. главу 3.1). Встречаемость данных нарушений морфологии имеет определенные закономерности, что позволяет эффективно использовать молодь рыб для экологических исследований.

Все обнаруженные морфологические аномалии и их группы (за исключением, может быть, самых редко встречающихся) фиксируются у молоди рыб независимо от ее видовой принадлежности, так как распределение встреченных морфологических нарушений из определенной

акватории практически не отличается у молоди разных видов. Так, например, у леща и густеры, являющихся бентофагами, у эврифагов плотвы и язя, у планктофага уклей, в одинаковых экологических условиях определенной станции исследования преобладающими являются аномалии одних и тех же групп с минимальными различиями по встречаемости среди разных видов. Таким же образом повторяется распределение среди разных видов рыб нечасто и редко встречающихся групп морфологических нарушений. При этом в зависимости от степени воздействия и состава комплексного загрязнения в изученных водоемах и водотоках, преобладание морфологических нарушений различных групп может, в некоторой степени, различаться. Однако для всех видов рыб из определенной станции исследования сохраняется одинаковое распределение основных групп нарушений, что доказывает неспецифический характер морфологических аномалий, обнаруженных у молоди рыб Средней и Нижней Волги.

Морфологические нарушения всех групп и отдельных типов обнаруживаются у молоди рыб на разных стадиях личиночного и малькового развития, начиная от самых ранних этапов В и С<sub>1</sub> – предличинки и ранние личинки, заканчивая поздними мальковыми стадиями – F и G. Частота встречаемости морфологических аномалий всегда снижается от максимальных значений на ранних стадиях, до минимальных значений на поздних мальковых стадиях (F, G). Среди мальков-сеголеток (H) аномальных особей нами не встречено во всех исследованных водоемах. Данная тенденция объясняется элиминацией особей с морфологическими аномалиями вследствие их низкой жизнеспособности. Как правило, все личинки и мальки рыб с нарушениями морфологии погибают, поэтому нами и не обнаружено таких особей среди мальков-сеголеток. В итоге, можно утверждать, что все обнаруженные нами нарушения морфологии в той или иной степени являются летальными для молоди рыб.

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

об экологическом состоянии исследуемого водоема, характере и качестве пополнения популяций волжских рыб в сложившихся экологических условиях. Данный метод является довольно точным, продуктивным, не требует больших затрат времени, оборудования и реактивов. Однако он имеет один существенный недостаток. На основе анализа морфологического состояния молоди рыб можно достаточно точно характеризовать экологическое состояние водоема только в период нереста и эмбрионально-личиночного развития рыб, то есть на протяжении двух-трех весенних и летних месяцев. Когда в водоеме перестает встречаться молодь рыб на личиночных и мальковых стадиях, перестают обнаруживаться и морфологические аномалии, так как у мальков-сеголеток они практически не фиксируются. Известны единичные случаи обнаружения морфологических аномалий у половозрелых рыб, однако подобные нарушения, как правило, не являются летальными, а встречаемость таких особей находится в области математической ошибки.

#### Глава 4

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

Исследования молоди рыб волжских водоемов и водотоков, результаты которых приведены в предыдущей главе, показали, что среди личинок и мальков в загрязненных водоемах доля аномальных особей может достигать больших значений, особенно на ранних стадиях личиночного развития –  $C_1$  и  $C_2$ . Как в Саратовском водохранилище, так и в других водоемах и водотоках Средней и Нижней Волги, по мере роста и развития молоди рыб от ранних личиночных стадий к мальковым – F, G, происходит снижение аномальных особей в популяциях всех изученных видов. В результате – среди мальков-сеголеток (стадия H) аномальных особей нами не обнаружено во всех исследованных водоемах, что свидетельствует о летальном характере морфофизиологических нарушений, обнаруживаемых у молоди рыб.

Однако, за время исследований (1996-2013 гг.) на акватории Саратовского водохранилища нами неоднократно обнаруживались в уловах половозрелые рыбы с теми или иными морфологическими аномалиями, но невозможно проследить закономерности встречаемости того или иного внешнего отклонения у взрослых особей из-за единичности и нерегулярности находок.

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% (ст. №1 – п. Федоровка, 1996 г.; см. главу 3.2.1, таблицу б), а встречаемость какого-либо типа нарушений иногда

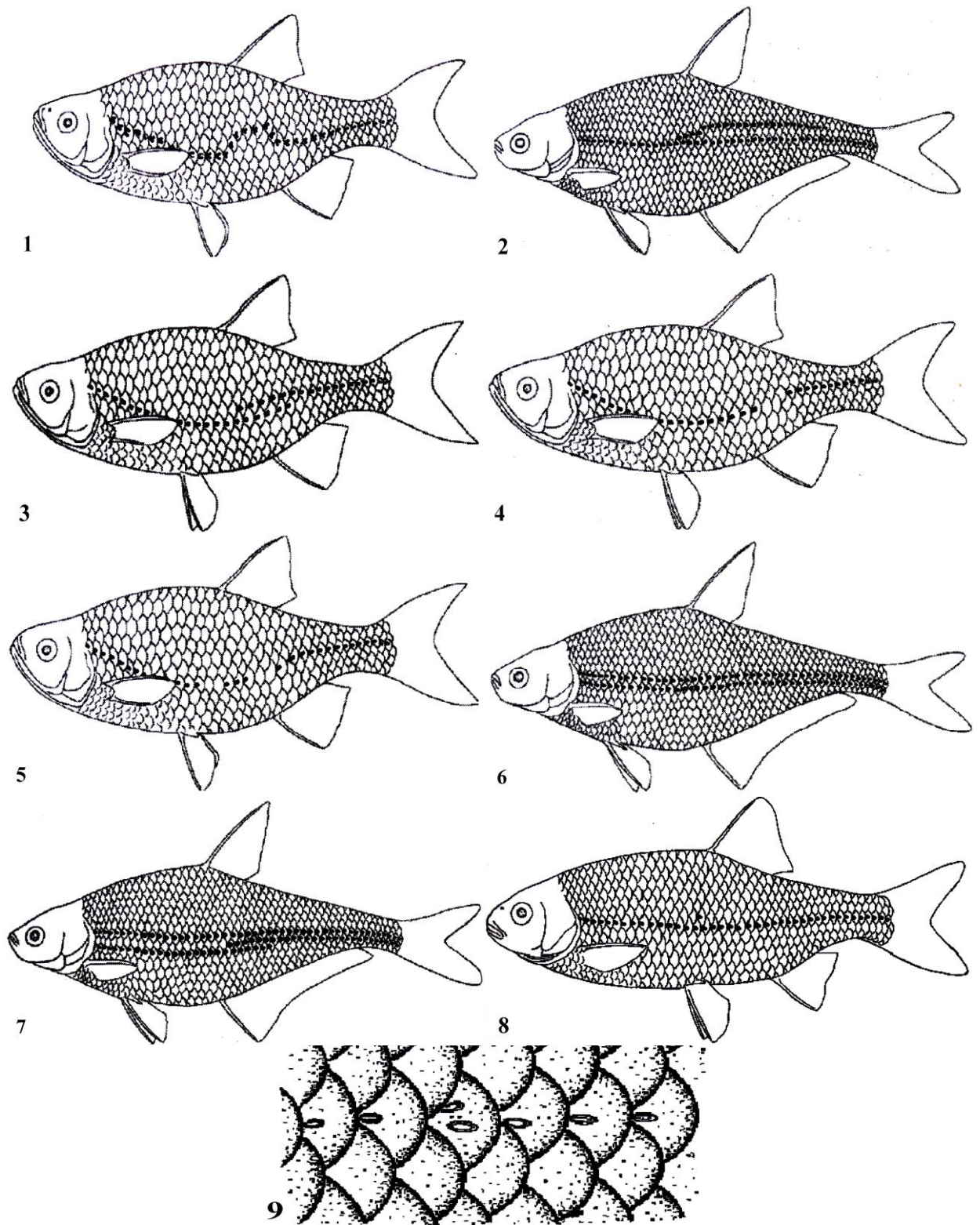


достигает  $87,4 \pm 1,21\%$  (пигментомы в области глаз) (Евланов и др., 1999, Минеев, 2010, 2011б), то у взрослых особей подавляющее количество аномалий встречены единично. Многие разновидности морфологических нарушений, обнаруживаемые у молоди, у взрослых рыб не встречаются, так как особи с такими аномалиями элиминируют 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 нами было зафиксировано 26 типов морфологических аномалий, которые можно разделить на пять групп:

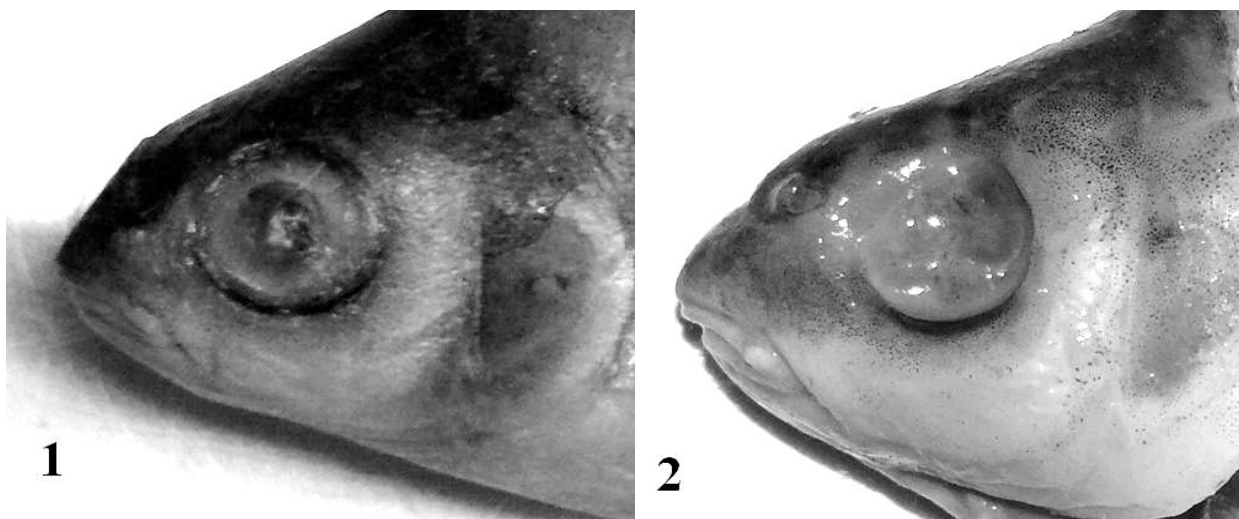
**1 группа – нарушения морфологии боковой линии.** У рыб Саратовского водохранилища обнаружено четырнадцать типов подобных аномалий, многие из которых отличаются по степени выраженности, то есть отмеченные с одной или с обеих сторон тела одной особи (таблица 16, аномалии № 2, 5, 7, 9 и 11). К этой группе относятся наиболее часто встречаемые и распространенные нарушения, такие как искривления (рисунок 36.1) и раздвоения боковой линии (рисунок 36.2), аномалии данной группы особенно часто обнаруживались у синца, однако, нечасто отмечались еще у плотвы и красноперки. К наиболее редко встречающимся аномалиям данной группы относятся все остальные морфологические нарушения боковой линии: нахлесты (рисунки 36.3, 36.7) и разрывы боковой линии (рисунок 36.4), а иногда частичное (рисунок 36.5) или ее полное отсутствие. Все они зафиксированы в единичных случаях за весь период исследования половозрелых рыб Саратовского водохранилища (1996–2013 гг.).

**2 группа – нарушения морфологии глаз.** Если среди личинок и мальков рыб Саратовского водохранилища доля особей с нарушениями морфологии глазного яблока достигала иногда 19,4% (см. главу 3.3.2), то у взрослых рыб аномалии данной группы встречаются единично.



**Рисунок 36.** Морфологические аномалии боковой линии у рыб Саратовского водохранилища (вид слева – схематическое изображение): 1 – красноперка, искривление боковой линии; 2 – синец, раздвоение боковой линии; 3 – красноперка, разрыв боковой линии с нахлестом; 4 – красноперка, одиночный разрыв боковой линии; 5 – красноперка, двойной разрыв боковой линии; 6 – синец, двойная боковая линия; 7 – синец, две боковых линии, нижняя имеет разрыв с нахлестом; 8 – плотва, чешуя, снабженная порой, вне боковой линии; 9 – плотва, чешуя боковой линии с двумя порами.

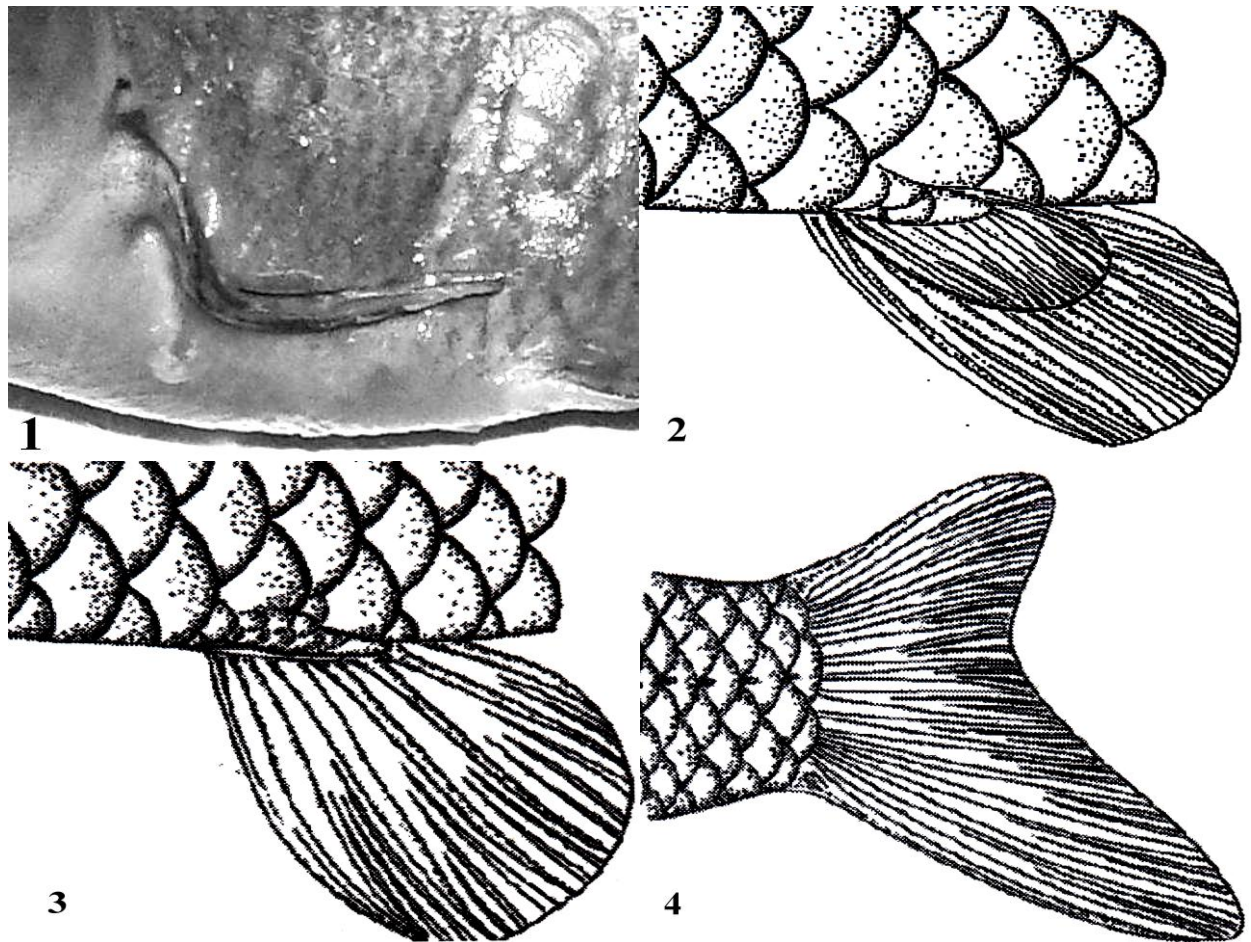
За весь период исследования нами обнаружено только две особи с нарушениями морфологии глаз. У леща было зафиксировано общее недоразвитие одного глазного яблока и отсутствие хрусталика в нем (рисунок 37.1). У второй особи обнаружено врожденное отсутствие одного глаза (рисунок 37.2). Встречаемость таких особей не превышает  $0,02 \pm 0,016\%$  среди всех исследованных из Саратовского водохранилища (таблица 16).



**Рисунок 37.** Нарушения морфологии глаз: 1 – лещ, отсутствие хрусталика в левом глазном яблоке. На месте хрусталика видна рыхлая непигментированная ткань; 2 – лещ, врожденное полное отсутствие левого глазного яблока.

**3 группа – нарушения морфологии плавников.** Данные аномалии так же обнаружены у половозрелых рыб Саратовского водохранилища единично и выражаются, как правило, в искривлении лучей плавника (рисунок 38.1), несоответствии числа лучей в плавнике нормальному количеству или общем недоразвитии плавника. У личинок рыб часто наблюдается полное отсутствие одного или нескольких плавников, чаще всего грудных, однако среди взрослых рыб такая особь обнаружена лишь единожды среди 418 лещей (рисунок 38.3) и 6223 всех обследованных рыб Саратовского водохранилища.





**Рисунок 38.** Нарушения морфологии плавников: 1 – лещ, искривление и недоразвитие левого грудного плавника; 2 – лещ, недоразвитие левого брюшного плавника; 3 – лещ, полное отсутствие левого брюшного плавника; 4 – густера, недоразвитие верхней лопасти хвостового плавника.

**4 группа – нарушения морфологии челюстей.** Морфологические нарушения, относящиеся к этой группе, обнаружены нами только у карповых рыб, являющихся наиболее массовыми в волжских водоемах. Зафиксированы особи с искривлением и недоразвитием верхней челюсти (рисунок 39.1), искривлением нижней челюсти (рисунок 39.2) и недоразвитием нижней челюсти (рисунок 39.3), что приводит к не смыканию ротового отверстия.

**5 группа – нарушения морфологии туловища.** Эту группу составляют такие аномалии как искривления позвоночника различной степени тяжести и локализации (рисунки 40.1-40.4). У взрослых рыб, как и у молоди, искривления позвоночника могут быть локализованы как в туловищном, так и в хвостовом отделе тела. Данные нарушения обычно являются следствием недоразвитости и срастания отдельных позвонков

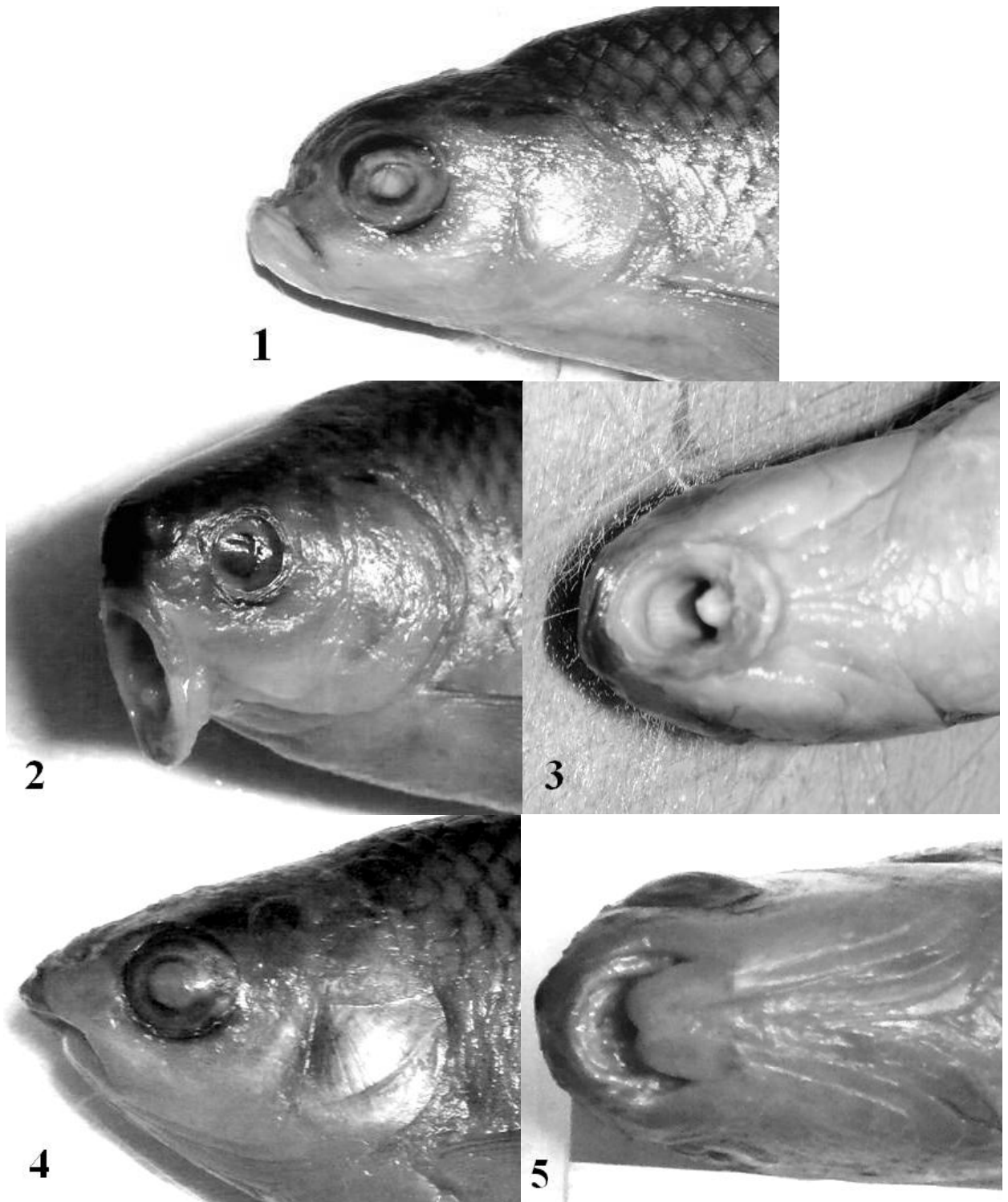
(рисунок 40.4), возникающих, как правило, на ранних стадиях личиночного и малькового развития. Подобные типы нарушений в крайней степени проявления являются летальными, в результате чего до половозрелого состояния доживают единичные особи в основном с незначительными или слабовыраженными проявлениями данной аномалии.

Искривления позвоночника зафиксированы всего у трех особей (0,06%, таблица 16) из 6223 обследованных рыб за весь период исследования – у бычка-цуцика, синца и густеры.

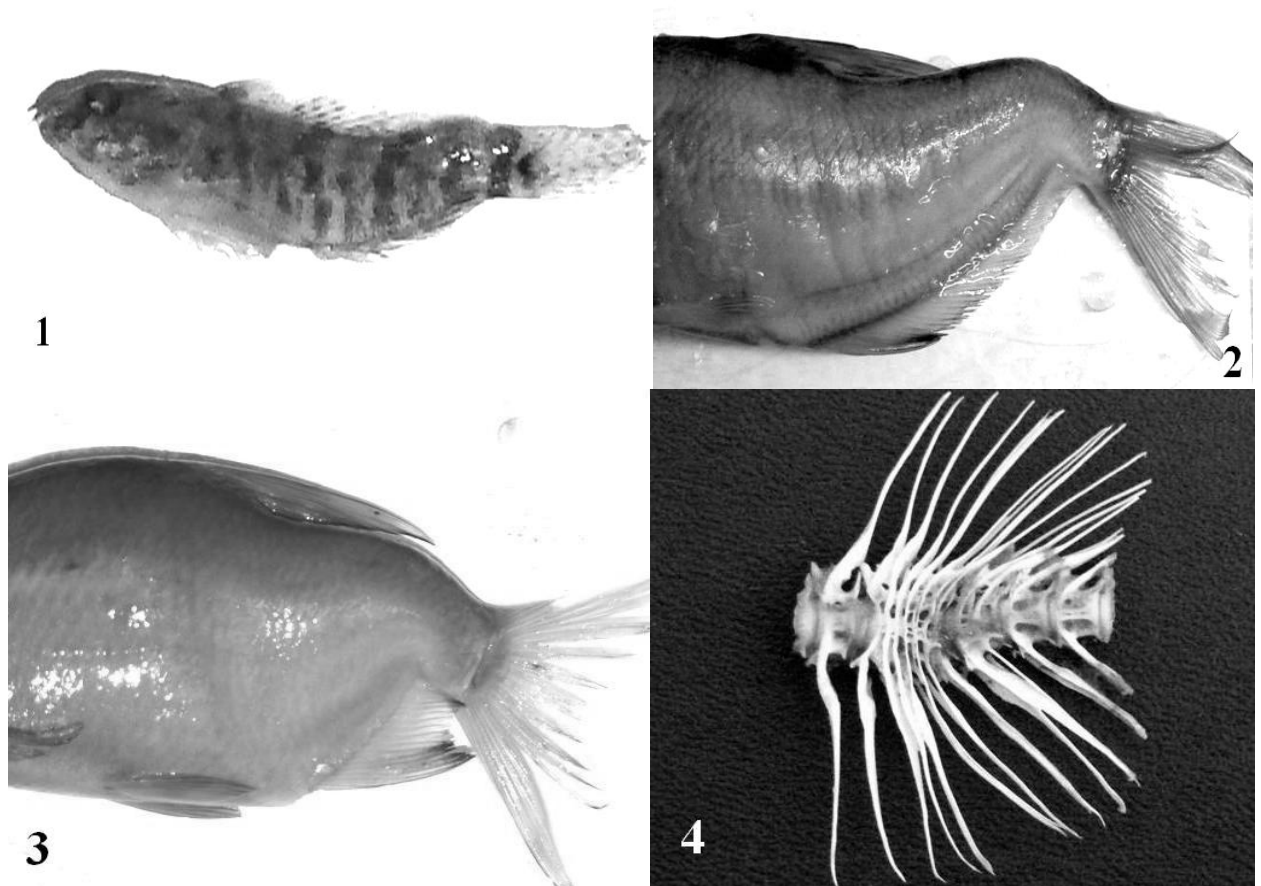
**6 группа – наружные новообразования.** По нашему мнению, морфологические аномалии, относящиеся к данной группе, способны возникать у рыб не только на личиночных и мальковых стадиях развития, но и у половозрелых особей, не имеющих подобных нарушений в ювенальном возрасте. Данные морфологические отклонения, выражающиеся в присутствии на поверхности тела опухолевидных новообразований и возникающие при различных нарушениях физиологических процессов, имеют, как правило, канцерогенную природу и вызываются воздействиями на организм различных загрязняющих веществ. Таким образом, данные наружные опухоли можно охарактеризовать не только как морфологические аномалии, но и как патологии.

Среди молодежи рыб Саратовского водохранилища доля особей с подобными пигментированными и непигментированными новообразованиями могла достигать на ранних стадиях развития ( $C_1$ – $C_2$ ) 56,9% и 4,4%, соответственно, с последующим понижением до 0,0% на более поздних мальковых стадиях (E – G) за счет низкой жизнеспособности и элиминации таких особей (глава 3.2.3, рисунок 25).

Вероятно, половозрелые рыбы при наличии таких патологий также теряют свою жизнеспособность и элиминируются, в результате чего нами обнаружено всего две взрослые особи за весь период исследования, их доля составила 0,03% от количества всех исследованных из Саратовского водохранилища (таблица 16).



**Рисунок 39.** Нарушения морфологии челюстей: 1 – плотва, вид слева: искривление и недоразвитие верхней челюсти, в результате чего, голова имеет “мопсовидную” деформацию; 2 и 3 – плотва, вид слева и вид снизу: искривление нижней челюсти, в результате которого не смыкается ротовое отверстие; 4 и 5 – плотва, вид слева и вид снизу: недоразвитие нижней челюсти, в результате чего не смыкается ротовое отверстие.

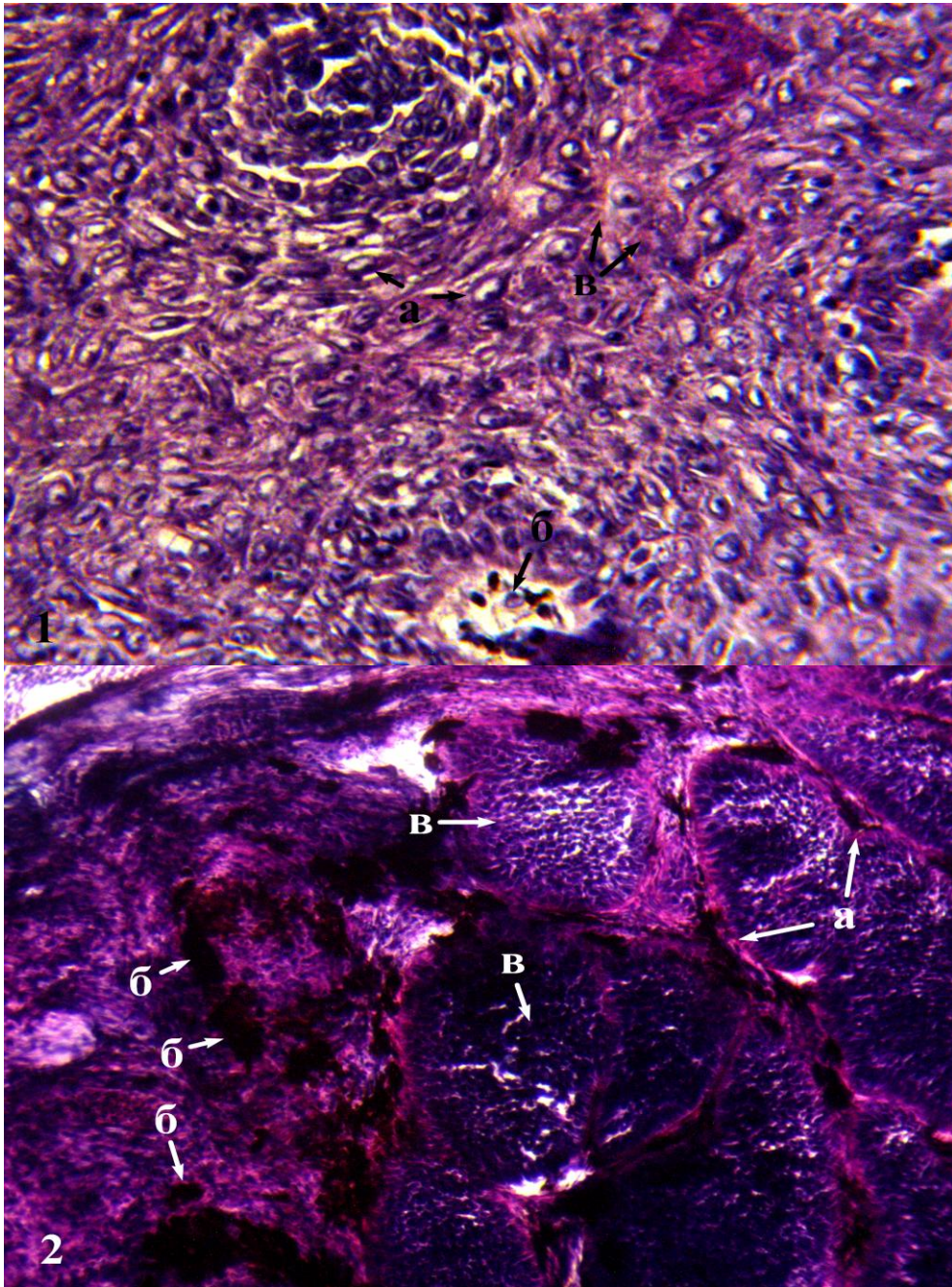


**Рисунок 40.** Искривления позвоночника: 1 – бычок-цуцик, вид слева: искривление позвоночника в хвостовом отделе тела; 2 – синец, вид слева: сильное искривление позвоночника в хвостовом отделе тела; 3 – густера, вид слева: сильное искривление позвоночника в хвостовом отделе тела; 4 – срастание семи позвонков, пять из которых недоразвиты и деформированы.

Обнаруженные нами одиночные опухоли имели слабую и среднюю пигментацию, были локализованы на голове одной особи плотвы и под спинным плавником у другой особи плотвы. Размер одной опухоли составлял  $7,2 \times 8,4$  мм, другой –  $5,6 \times 11,3$  мм. Оба новообразования имели светло-серый цвет, гладкую поверхность и слизевый покров. Несмотря на слабые различия во внешнем строении этих опухолей, они имели различающуюся гистологическую структуру (рисунок 41). Оба обнаруженные новообразования имели явное эпидермальное происхождение и классифицированы нами как, предположительно, плоскоклеточный ороговевающий рак или базалиома, характеризующаяся полиморфными



атипическими эпителиальными клетками (рисунок 41.1), и фиброма (или дерматофиброма) (рисунок 41.2) (Агамова, Никитина, 1976).



**Рисунок 41.** Гистологическая картина наружных опухолей у рыб Саратовского водохранилища (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 - плотва, слабопигментированная наружная опухоль ( $\times 200$ ), а – одноядерные округлые клетки, образующие концентрические пласты вокруг полостей – б, в – соединительнотканнные волокна и паренхима в пространстве между клеток опухоли; 2 - плотва, пигментированная наружная опухоль ( $\times 200$ ), а – пигментированные меланином волокна соединительной ткани образующие стенки полостей, б – отдельные скопления гранул меланина, в – мелкие железистые гранулы, заполняющие лакуны образованные соединительной тканью.



**Таблица 16.** Встречаемость особей с различными типами морфологических аномалий среди половозрелых рыб Саратовского водохранилища

Типы морфологических аномалий	Встречаемость особей с отдельным типом аномалии, %
<b>1 группа</b>	<b>0,31±0,07</b>
1. Искривление боковой линии (б. л.) с одной стороны тела	0,06±0,03
2. Искривление б.л. с двух сторон тела	0,03±0,02
3. Раздвоение б. л. с одной стороны тела	0,03±0,02
4. Разрыв б. л. с нахлестом с одной стороны тела	0,02±0,016
5. Разрыв б. л. с нахлестом с двух сторон тела	0,02±0,016
6. Одиночный разрыв б. л. с одной стороны тела	0,02±0,016
7. Одиночный разрыв б. л. с двух сторон тела	0,02±0,016
8. Двойной разрыв б. л. с одной стороны тела	0,02±0,016
9. Двойной разрыв б. л. с двух сторон тела	0,02±0,016
10. Двойная б. л. с одной стороны тела	0,02±0,016
11. Двойная б. л. с двух сторон тела	0,02±0,016
12. Двойная б. л. с одной стороны, одна разорвана внахлест	0,02±0,016
13. Чешуя, снабженная порой, локализованная не в б. л.	0,02±0,016
14. Чешуя, снабженная двумя порами	0,02±0,016
<b>2 группа</b>	<b>0,03±0,02</b>
1. Недоразвитие одного глазного яблока	0,02±0,016
2. Отсутствие одного глазного яблока	0,02±0,016
<b>3 группа</b>	<b>0,08±0,04</b>
1. Недоразвитие одного брюшного плавника	0,02±0,016
2. Недоразвитие двух брюшных плавников	0,02±0,016
3. Отсутствие одного брюшного плавника	0,02±0,016
4. Искривление и недоразвитие одного грудного плавника	0,02±0,016
5. Недоразвитие верхней лопасти хвостового плавника	0,02±0,016
<b>4 группа</b>	<b>0,05±0,03</b>
1. Искривление верхней челюсти – “мопсовидная голова”	0,02±0,016
2. Искривление нижней челюсти	0,02±0,016
3. Недоразвитие нижней челюсти	0,02±0,016
<b>5 группа</b>	<b>0,06±0,03</b>
1. Искривление позвоночника	0,06±0,03
<b>6 группа</b>	<b>0,03±0,02</b>
2. Наружные новообразования	0,03±0,02

Наличие подобных новообразований у рыб и других гидробионтов позволяет характеризовать любой исследуемый водоем как значительно

загрязненный различными поллютантами, в том числе – канцерогенами.

В Саратовском водохранилище основную долю особей (среди рыб с зафиксированными морфологическими дефектами) составляют особи с аномалиями в строении боковой линии –  $54,3 \pm 8,54\%$ , которые, по всей видимости, не оказывают заметного влияния на их жизнеспособность. От общего количества обследованных особей доля таких рыб была максимальной, но составила всего 0,31% (таблица 16). В тоже время, такие аномалии как отсутствие глазного яблока, отсутствие брюшного плавника, искривления и недоразвитие челюстей, существенно ограничивающие функциональные возможности организма и встречаются у рыб единично.

Процент таких особей не превышает 0,02% среди 6223 обследованных в Саратовском водохранилище (таблица 16). При достаточно представительной выборке взрослых особей общее количество аномальных рыб среди всех обследованных не превышает 0,6%. Невелика доля уродливых особей и среди отдельных видов рыб, данный показатель варьирует от 0,2% (плотва) до 2,9% (синец) (таблица 17).

Среди трех обследованных видов рыб: язь, бычок-головач и ротан-головешка, аномальных особей не обнаружено за весь период исследования. Среди остальных видов рыб встречаемость особей с нарушениями внешней морфологии является редкой или единичной, не превышающей 0,9% рыб в популяции (окунь), за исключением синца, в выборке которого обнаружено 12 особей с нарушениями строения боковой линии. Причем, все особи синца с аномалиями боковой линии обнаружены одновременно в одном улове, чего впоследствии не повторялось. Основная масса обнаруженных у половозрелых рыб морфологических аномалий не является летальной, то есть существенно не снижает жизнеспособность особей.

Наличие аномалий у взрослых рыб является следствием воздействия неблагоприятных факторов, оказанных на отдельную особь в период эмбриогенеза, за исключением, возможно, аномалий шестой группы. Так, среди личинок и мальков массовых видов рыб Саратовского водохранилища

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

**Таблица 17.** Встречаемость особей с морфологическими аномалиями среди половозрелых рыб разных видов в Саратовском водохранилище

Вид рыб	Число особей обследованных за период 1996–2013 гг, экз.	Число аномальных особей обнаруженных за период 1996–2013 гг, экз.	Доля аномальных особей среди каждого вида, %
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±0,32
ротан-головешка	264	0	0,0
<b>Общее количество</b>	<b>6223</b>	<b>35</b>	<b>0,6±0,09</b>

До половозрелого состояния доживают единичные экземпляры, поэтому не представляется возможным проследить какие-либо хронологические или видовые закономерности встречаемости разных типов морфологических аномалий у взрослых рыб. Тот факт, что у мальков-сеголеток за весь период исследования нами не было зафиксировано нарушений морфологии, обнаруженных впоследствии у половозрелых особей, также свидетельствует о крайней редкости таких находок среди взрослых рыб и о высокой степени летальности большинства аномалий, встречаемых у молоди.

Так как у молоди рыб встречаемость различных типов аномалий не зависит от видовой принадлежности (Минеев, 2001, 2010, 2011б) то у взрослых особей также не может быть такой зависимости. В условиях

Саратовского водохранилища на рыб воздействует целый комплекс поллютантов, которые способны как усиливать, так и нейтрализовывать действие друг друга, поэтому невозможно проследить и зависимость возникновения тех или иных нарушений развития от влияния конкретного загрязняющего вещества.

До половозрелого состояния доживают особи, у которых уродства не оказывают заметного влияния на их жизнеспособность, то есть в редких случаях не являлись летальными для особей и в период их личиночного развития, что является крайне редким явлением. Факт обнаружения морфологических аномалий у взрослых рыб является одним из доказательств достаточно высокой степени антропогенной нагрузки на экосистему Саратовского водохранилища и Нижней Волги в целом. Однако данные нарушения являются последствием неблагоприятных воздействий оказанных на отдельную особь в основном в период эмбриогенеза и личиночного развития. Таким образом, встречаемость взрослых рыб с морфологическими отклонениями не может служить надежным показателем экологического состояния водоема в момент вылова таких особей.

Вследствие невозможности оценить качество популяций рыб и, соответственно, экологическое состояние водоема на основе морфологического состояния половозрелых особей, а полученные на основе анализа состояния молоди рыб исчерпывающие достоверные данные ограничены временным отрезком, то особую актуальность приобретают методы физиологического изучения половозрелых особей (гематологические и гистологические). На основе данных исследований общая картина морфофизиологического состояния популяций рыб Средней и Нижней Волги существенно расширяется и дополняется. Именно комплексный характер изучения как морфологических, так и физиологических показателей рыб разных видов, возрастных и экологических групп позволяет оценить адаптационные возможности представителей ихтиофауны волжских водоемов, а также прогнозировать дальнейшее развитие всей экосистемы.

## Глава 5

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

В условиях волжских водоемов, в воде которых содержится целый комплекс загрязняющих веществ, у половозрелых представителей массовых аборигенных и чужеродных видов рыб обнаруживаются патологии клеток крови, нарушения гематологических параметров (Минеев, 2007а, 2009), а также патологии следующих внутренних органов: жабры, печень, сердечная мышца, гонады.

В связи с этим, изучение возникающих у рыб физиологических нарушений – гемато- и гистопатологий, понимание закономерностей их возникновения приобретает особую актуальность, так как позволяет оценить современное состояние популяций массовых видов рыб из исследуемых водоемов и водотоков и сделать прогноз возможных дальнейших качественных изменений в состоянии данного ресурса.

Многообразие функций крови – одной из дифференцированных реактивных тканей – ставит ее в ряд ценных индикаторов состояния особи. Многочисленными исследованиями показано, что кровь и сердечнососудистая система рыб подвергаются выраженным функциональным расстройствам и патологическим изменениям при воздействии на них различных ядов (Терсков, Гительзон, 1957; Крылов, 1962, 1974). Различные форменные элементы и плазма крови являются неотъемлемой составляющей всей иммунной системы позвоночных животных. Организация иммунной системы у рыб позволяет ей развивать все формы иммунного ответа, встречающиеся у наземных позвоночных животных, однако водная среда обитания определяет характерные

особенности иммунной системы у рыб – она более лабильна (Кондратьева, Киташова, 2002). Любое внешнее воздействие (изменение природных условий, загрязнение среды обитания или применение кормовых добавок в рыбоводстве) активирует механизмы врожденного иммунитета, обеспечивающие немедленное и кратковременное реагирование на него (Там же). В связи с этим в естественных условиях рыбы оказываются более чувствительными к загрязнению среды обитания, чем к различным инфекциям, так как в ответ на инфицирование адаптивные механизмы иммунореактивности у рыб играют меньшую роль, чем у наземных позвоночных (Там же). Таким образом, изучение иммунной системы рыб дает исследователям возможность не только выявить новые филогенетические связи между различными группами животных, но и успешно использовать иммунологические параметры рыб для мониторинга экологической обстановки биогеоценозов (Там же).

Как правило, первичной реакцией на стрессовое воздействие является увеличение содержания в крови плазменного кортизола, который оказывает подавляющее действие на иммунную систему (Vazzana et al., 2002). При сильном увеличении уровня плазменного кортизола неизбежно повышается уровень глюкозы и осмолярность крови, а фагоцитарная активность в почках и цитотоксическая активность эозинофильных гранулоцитов из перитонеальной полости снижается (Там же). Таким образом, уровни глюкозы, кортизола, осмолярность коррелировали с клеточным иммунитетом линейно-регрессивным образом (Там же). Длительное сохранение повышенного уровня кортизола в плазме в результате стрессовых воздействий может ингибировать иммунную функцию организма, увеличивая восприимчивость рыб к различным патогенам. Под действием кортизола число лимфоцитов снижается, а гуморальные иммунные факторы, такие как лизоцим или комплемент, под влиянием стресса находятся в подавленном состоянии (Wang Wen-bo, Li Ai-hua, 2002).

Использование гематологических показателей рыб для мониторинга экологического состояния водоемов и в качестве показателей адаптаций отдельных особей ранее предлагалось неоднократно в составе различных методик. Комплексно, с позиций экологической ихтиогематологии исследовались гематологические показатели рыб с учетом гидрохимических параметров, при этом установлены закономерности функционирования системы крови рыб при адаптации к различным факторам среды (Серпунин, 2002). На примере двух видов короткоцикловых рыб северо-восточной прибрежной части Черного моря (глазчатый губан – *Symphodus ocellatus* и бычок-губан – *Neogobius platyrostris*) показано, что гематологические показатели, такие как частота aberrantных форм эритроцитов на мазках крови, являются достаточно надежным индикатором оценки экологической ситуации (Галкина и др., 2002). Авторами также доказано в токсикологических экспериментах с разными прессами поллютантов, что такая методика обладает высокой чувствительностью и характеризуется прямой корреляционной связью “доза-эффект” (Там же).

В качестве целевых показателей состояния здоровья среды обитания, при мониторинговых исследованиях, предлагалось использовать и конкретные гематологические показатели, такие как информационный индекс нормы лейкоцитов (Mikryakov et al., 2001) и микроядерный тест (Лугаськова, 2001). Данные параметры считаются эффективными маркерами при различных воздействиях токсикантов на рыб. С помощью микроядерного теста оценен генотоксический фон природных водоемов Северного Урала, отличающихся по степени антропогенной нагрузки (загрязнение химическими веществами, ионами тяжелых металлов, эвтрофирование) (Там же). Объектами исследования служили наиболее массовые виды рыб этих водоемов: плотва, лещ, щука, окунь, карась, елец, ерш пескарь, уклея (Там же). Была прослежена видовая специфика цитогенетической стабильности рыб в однотипных условиях и ее колебания в зависимости от характера и степени фонового загрязнения водоема. Выявлены виды с высоким уровнем

цитогенетической стабильности, которые могут служить видами-индикаторами существенных изменений уровня мутагенности среды обитания, при долговременном воздействии антропогенных факторов на водную экосистему. Виды рыб, обладающие низкой цитогенетической стабильностью, могут быть индикаторами генотоксичности водоема при незначительных или спонтанных изменениях токсической обстановки в среде обитания (Лугаськова, Насыров, 2001).

Большинство гематологических показателей, являющихся индикаторами состояния всей иммунной системы рыб, являются достаточно чувствительными индикаторами загрязнения водных экосистем. На примере популяций леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) 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).

Известно, что 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 (Житенева и др., 1997; Заботкина и др., 2000; Каниева, 2002), тем более, что действие различных токсикантов может суммироваться и усиливаться (аддитивный и синергический эффект).

Показано также, что в первую очередь на продолжающееся воздействие 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, 2004а). У особей, подвергшихся, например, фенольной интоксикации, наблюдается снижение числа лимфоцитов на фоне повышения



числа базофилов, что указывает на повышение фагоцитарной активности и включение компенсаторных механизмов. Такое же воздействие на кровеносную систему рыб оказывает интоксикация  $\text{Cu}^{2+}$  (Там же). Можно заключить, что токсическая среда вызывает иммунный дефицит, и, как следствие этого, возникают воспалительные процессы (Ложичевская и др., 2002). Уменьшение относительного количества лимфоцитов и увеличение содержания нейтрофилов характеризуется как неспецифическая реакция на воздействие широкого ряда токсикантов (фенол, нафталин и т.д.) (Балабанова, Микряков, 2002). Сублетальные концентрации тяжелых металлов, в частности – кадмия, вызывают в организме карповых рыб общую неспецифическую стрессовую реакцию иммунной системы (Лапирова и др., 2004). При этом в первую очередь разрушению подверглись клетки гемопоэтической и лимфомиелоидной ткани, система кровоснабжения органов. В туловищной почке также оказались повреждены очагами некроза боуменова капсула, проксимальный и дистальный канальцы, в селезенке – меланомакрофагальные и зародышевые центры (Там же). В экспериментальных исследованиях (Tassakka, Sakai, 2002) зафиксирована способность токсикантов (содержащих немителированный CrG) повышать фагоцитарную активность почечных фагоцитов и сывороточного лизоцима, что также приводит к неспецифическим некротическим изменениям в тканях при длительном воздействии стрессоров.

Состояние рыб успешно оценивалось также по количеству эритроцитов (Головина, Тромбицкий, 1989; Llorent et al., 2002), по интенсивности процесса гемопоэза (Houston, 1980; Lane, Tharp, 1980), по количеству нормобластов (Тарасенко, Мельников, 1979; Хрущев и др., 1993), по отклонениям в лейкоцитарной формуле (Рудницкая, Бугаев, 2001; Балабанова, Микряков, 2002; Бугаев и др., 2002; Рудницкая и др., 2002).

При изучении показателей красной и белой крови пяти видов морских рыб: *Magil cephalus*, *Lira macrolepis*, *Lira parsia*, *Mystus gulio*, *Rast relliger* в зонах бухты г. Вышакхапатнама (юго-западное побережье Индии), в разной

степени загрязненных солями тяжелых металлов, нефтью, мазутом и др., показано, что для рыб из загрязненных участков характерна макроцитарная и нормохромная анемия, увеличение размеров эритроцитов, лейкоцитоз, лимфоцитоз, тромбоцитопения, снижение числа эритроцитов, уровня гематокрита и гемоглобина (Panduranga et al., 1990). Учитывая, что концентрация каждого из загрязнителей была достаточно мала, исследователи считали, что имел место синергический эффект, оказывающий большее, нежели суммарное, влияние на гематологические показатели исследованных рыб (Там же).

Гематологический мониторинг азовских осетровых (1997-1999 гг.) свидетельствует о формировании ранних преходящих и достаточно хорошо компенсированных изменений некоторых морфологических и физиологических функций отдельных классов лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов, которые свидетельствуют о наличии сопутствующей патологии организма рыб в неблагоприятных экологических условиях (Рудницкая и др., 2000). Отмечена необходимость постоянного мониторинга кроветворной системы рыб в изменяющихся условиях среды обитания (Там же). Показатели крови производителей судака и тарани Азово-Кубанского района 1992-2000 г. также свидетельствовали о неблагоприятном физиологическом состоянии рыб (Рудницкая и др., 2001). У особей обоих видов в кровяном русле встречались эритроциты с фестончатыми краями или полностью разрушенные (шистоциты), в цитоплазме клеток отмечались изменения в виде гипохромазии с образованием вакуолей. При этом в лейкоцитарной формуле возрастало число нейтрофилов и моноцитов на фоне снижения количества лимфоцитов до 50%, что можно рассматривать как фазу напряжения процесса приспособления организма к адаптогенным факторам (Там же). У севрюги из тех же акваторий Азовского моря отмечено сокращение размеров эритроцитов почти вдвое, что может привести к нарушению регуляции кислотно-щелочного равновесия, адсорбции токсикантов и изменению ферментативных процессов из-за сокращения

функционально-активной поверхности клеток (Рудницкая, Бугаев, 2001). Одной из основных причин такого состояния системы крови является, по-видимому, действие гемолитических ядов, в частности пестицидов, которые приводят к дегенеративным изменениям и нарушениям физиологических и биохимических процессов в организме рыб (Там же). У окуня из кислотных водоемов Северо-Запада России также зафиксировано снижение объема эритроцитов и содержания гемоглобина в одном эритроците, а также повышение содержания относительного лейкоцитов, что свидетельствует о неблагополучии здоровья рыб и угнетении их жизненных функций (Заботкина и др., 2000).

Дегенеративные формы эритроцитов (полихромазия, пойкилоцитоз и анизоцитоз) сопровождающиеся симптомами гемолитической анемии различной степени зафиксированы в 2000–2002 гг. у волжских осетровых: стерляди, осетра, белуги и севрюги (Федорова и др., 2002). Авторы объясняли подобную ситуацию, прежде всего, антропогенным загрязнением волжской воды, указывая на возможность использования гематологических показателей в качестве тестов при экспресс-диагностике состояния производителей осетровых.

Из зарубежной литературы также известно, что у рыб (в частности - карпов), обитающих в загрязненных районах, увеличена частота микроядер в эритроцитах и доля белых клеток в крови, тогда как количество эритроцитов снижено (Llorent et al., 2002).

Состав лейкоцитарной формулы является одним из важнейших гематологических показателей, отражающих состояние здоровья отдельной особи. Преобладание в белой крови гранулоцитов свидетельствует об угнетении ретикуло-эндотелиальной системы, а общее перераспределение соотношения различных форм лейкоцитов сопровождается ослаблением иммунной системы рыб и повышением фагоцитарной активности клеток белой крови (прежде всего нейтрофилов) (Рудницкая, Бугаев, 2001). У рыб разных видов из водоемов с различными гидрологическими условиями при

повышении уровня загрязнений данный показатель изменяется аналогичным образом (Рудницкая, Бугаев, 2001; Балобанова, Микряков, 2002; Бугаев и др., 2002; Минеев, 2007а; Минеев, 2014). На примере азовской севрюги показано, что при наличии во внутренних органах (гонадах и печени) патологий, вызванных хронической интоксикацией, в лейкоцитарной формуле также наблюдается значительный сдвиг в сторону увеличения гранулоцитов. У большинства рыб в подобных условиях индекс сдвига лейкоцитов составил от 0,7 до 1,2 против 0,5-0,6 в норме, в периферической крови обнаруживаются миелобластические клетки (24% против 16% в норме) (Рудницкая, Бугаев, 2001). При нормальном числе лимфоцитов от 70% до 83%, у производителей севрюги с патологиями гонад количество лимфоцитов снижалось до 53% у самцов и до 43% у самок, одновременно с этим увеличивалось содержание нейтрофилов: у самцов до 37% при норме 18%, у самок – до 45% (Там же).

У рыб разных систематических групп из водоемов с различающимся гидрологическим режимом и набором абиотических и биотических факторов (соленоводных и пресноводных) в условиях примерно одинакового пресса негативных факторов среды (определяющим из которых является уровень техногенного загрязнения) наблюдаются, как правило, одинаковые дегенеративные изменения большинства гематологических показателей и других физиологических и биохимических процессов.

Ранее было установлено (Минеев, 2007а, 2012а, 2014), что гематологические параметры рыб разных видов в условиях Саратовского водохранилища подвержены негативным изменениям под воздействием различных неблагоприятных факторов, одним из которых является комплексное антропогенное загрязнение. Таким образом, одной из задач нашей работы является использование гематологических показателей рыб в качестве одного из надежных критериев степени токсичности водной среды в системе комплексного биологического мониторинга водных экосистем (Галкина и др., 2002; Калинина, 2002; Серпунин, 2003).

## **5.1. Нарушения гематологических показателей у половозрелых особей**

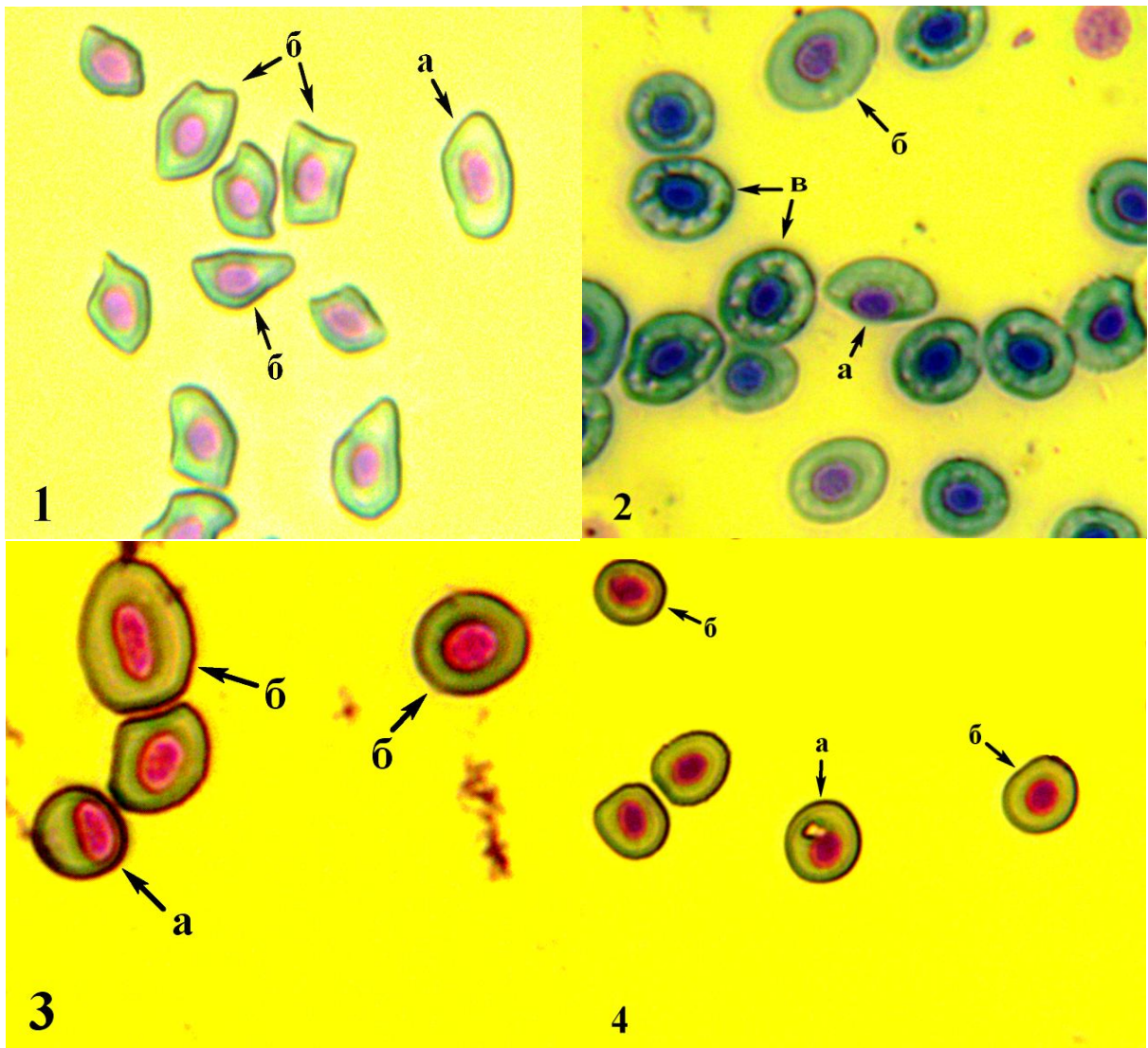
Для гематологических исследований на волжских водохранилищах и их притоках были выбраны массовые виды рыб – плотва (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), лещ (*Abramis brama* Linnaeus, 1758), густера (*Blicca bjoerkna* Linnaeus, 1758), укляя (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758), окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), щука (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), судак (*Stizostedion lucioperca* Linnaeus, 1758), бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), бычок-головач (*Neogobius iljini* Vasiljeva et Vasiljev, 1996), бычок-цуцик (*Proterorhinus marmoratus* Pallas, 1814), ротан-головешка (*Perccottuss glenii* Dybowski, 1877).

Изученные виды отличаются особенностями экологии: биотопами обитания, пищевыми предпочтениями, продолжительностью жизни (длинноцикловые и короткоцикловые), особенностями нереста и т.д. Однако, согласно результатам наших исследований, рыбы разных систематических групп проявляют аналогичные изменения в гематологических параметрах, оказываясь в аналогичных экологических условиях.

### **5.1.1. Классификация патологий эритроцитов**

В экологических условиях водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги у половозрелых рыб разных видов были распространены следующие двадцать три типа патологических изменений в структуре эритроцитов:

- 1. Произвольная деформация эритроцита.** При этом происходит изменение формы клетки без изменения ее площади и объема. Эритроцит имеет неправильную форму (рисунки 42.1б, 47.1в) вместо нормальной эллипсоидной (рисунок 42.1а) при размерах соответствующих норме.



**Рисунок 42.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азур-эозином): 1 – эритроциты щуки ( $\times 50$ ), а – клетка нормальной формы и размера, б – произвольная деформация эритроцитов; 2 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 50$ ), а – эритроцит с ацентрическим расположением ядра, б – клетка с нормальным расположением ядра, в – вакуолизация цитоплазмы; 3 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 100$ ), а – нормобласт с ацентрическим расположением ядра, б – нормобласт с нормальным расположением ядра, 4 – нормобласты бычка-цуцика ( $\times 50$ ), а – нормобласт с вакуолизированной цитоплазмой, б – нормобласты без патологий.

2. **Ацентрическое расположение ядра эритроцита.** Ядро располагается не в центре, как в нормальной клетке, а смещено к краю цитоплазмы, иногда ядро соприкасается с оболочкой. Данная патология распространена как среди зрелых эритроцитов (рисунки 42.2а и 45.4в), так и среди различных форм нормобластов – незрелых эритроцитов (рисунок 42.3а). При этом ядро, как правило, имеет нормальные размеры и форму.

3. **Вакуолизация цитоплазмы эритроцита.** Во время наших исследований обнаружена вакуолизация клеточной цитоплазмы как у зрелых эритроцитов (рисунок 42.2в), так и у нормобластов (рисунок 42.4а). Размер вакуолей может варьировать, они могут быть единичными (рисунок 42.4а) или их может быть несколько (рисунок 42.2в).

4. **Вздутие эритроцита.** Клетка сильно увеличена в размере (рисунок 43.1а). Часто между цитоплазмой и оболочкой виден просвет. Вздутие клеток может сопровождаться вакуолизацией.

5. **Сморщивание эритроцита.** Клетка уменьшается в размерах, что сопровождается образованием глубоких складок в оболочке (рисунок 43.2а).

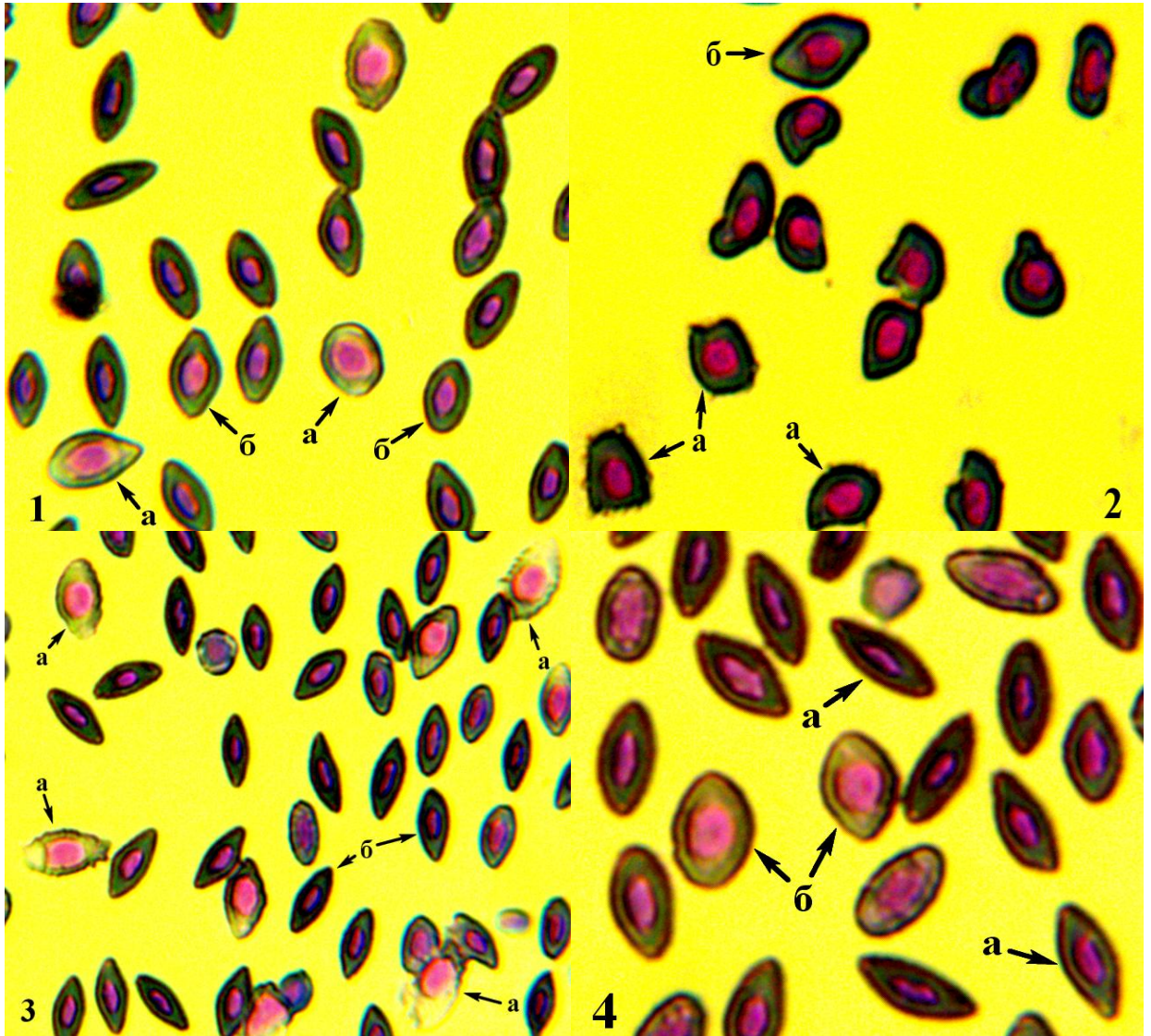
6. **Шистоцитоз (цитолиз).** Процесс, заключающийся в разрушении клетки. Ядро теряет свою структуру, цитоплазма часто отсутствует, оболочка сморщена и с разрывами (рисунок 43.3а).

7. **Веретеновидная деформация эритроцита.** Клетка имеет заостренную форму с противоположных полюсов, при этом ширина ее уменьшена, в результате чего клетка по форме напоминает веретено (рисунок 43.4а).

8. **Каплевидная деформация эритроцита.** Эритроцит заострен с одного полюса, при этом клетка имеет нормальную ширину (рисунок 44.1а). Клетки с такой патологией напоминают по форме каплю.

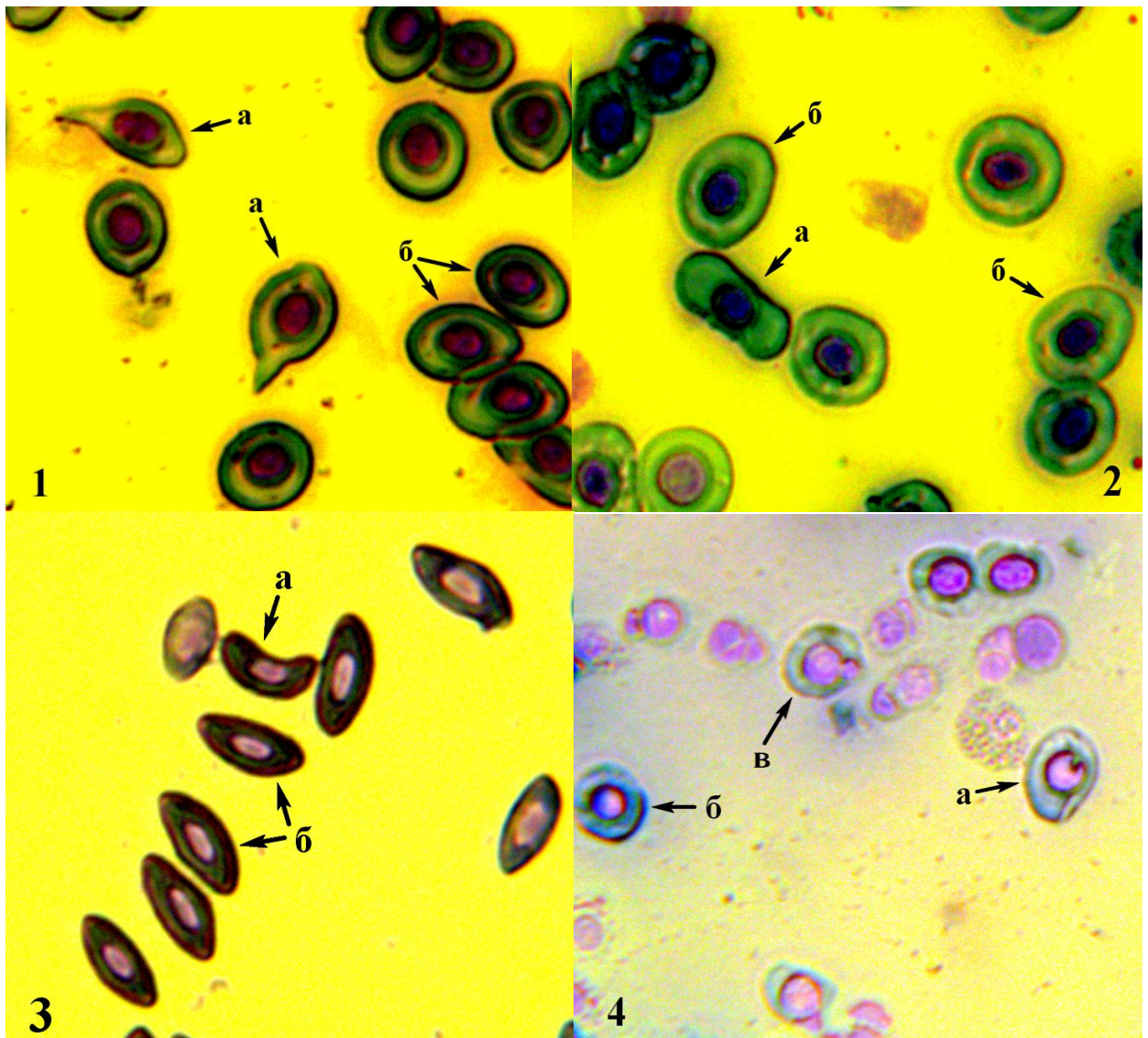
9. **Палочковидная деформация эритроцита.** Форма эритроцита приближена к цилиндрической (рисунок 44.2а). Клетка как бы сплющена с боков и несколько вытянута. При этом площадь и размер эритроцита не отличаются от таковых у клеток нормальной формы.





**Рисунок 43.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азур-эозином): 1 – эритроциты щуки ( $\times 50$ ), а – вздутие эритроцитов, б – эритроциты нормальной формы и размера; 2- эритроциты бычка-цуцика ( $\times 50$ ), а – сморщивание эритроцитов, б – эритроцит нормальной формы и размера; 3 – эритроциты щуки ( $\times 50$ ), а – шистоциты (разрушающиеся клетки), б – нормальные эритроциты; 4 – эритроциты щуки ( $\times 100$ ), а – веретеновидная деформация эритроцита, б – эритроциты нормальной формы.





**Рисунок 44.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азу-эозином): 1 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 100$ ), а – каплевидная деформация эритроцита, б – эритроциты нормальной формы и размера; 2 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 100$ ), а – палочковидная деформация эритроцита, б – эритроциты нормальной формы и размера; 3 – эритроциты щуки ( $\times 100$ ), а – серповидная деформация эритроцита, б – эритроциты нормальной формы и размера; 4 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 100$ ), а – деформация ядра эритроцита, б – эритроцит с ядром нормальной формы и размера, в – фрагментоз ядра эритроцита.

10. **Серповидная деформация эритроцита.** Эритроцит имеет несколько вытянутую и загнутую форму. Клетка при этом по форме напоминает серп (рисунок 44.3а).

11. **Деформация ядра.** Ядро имеет неправильную форму при сохранении нормальных размеров (рисунок 44.4а). Структура хроматина ядра и размеры самой клетки также соответствуют норме.

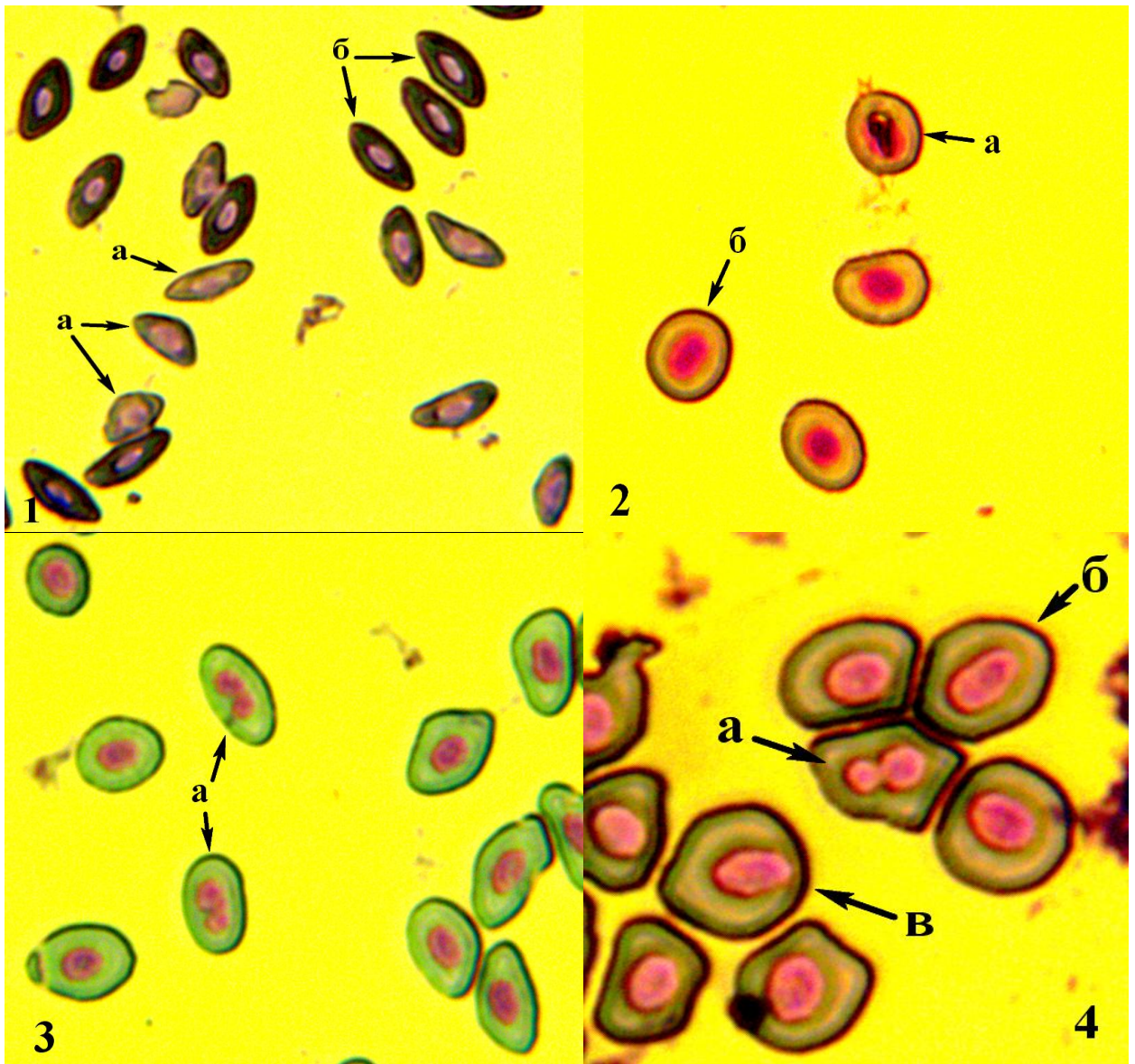
12. **Кариолизис.** Данный тип патологии заключается в растворении (лизисе) части ядра при сохранении нормальной структуры оставшейся части (рисунок 45.1а). При этом контуры ядра нечеткие, размытые.

13. **Пикноз.** Уплотнение базихроматина ядра, которое при этом становится темным и бесструктурным (рисунок 45.2а). Размер клетки уменьшается (описание по Житеневой Л.Д. и др., 1997).

14. **Раздвоение ядра эритроцита.** Ядро эритроцита имеет две части округлой формы соединенные между собой более тонкой перетяжкой (рисунок 45.3а). Обе части раздвоенного ядра имеют размер меньший, чем у нормального ядра, но хроматин ядра при этом характеризуется сохранением нормальной структуры. Клетка с раздвоенным ядром по форме и размерам, как правило, не отличается от нормального эритроцита.

15. **Два ядра в одном эритроците.** Внутри нормальной по размерам клетки находится 2 ядра (рисунок 45.4а). Размеры и форма ядер не соответствует норме, тогда как структура хроматина визуально обнаруживаемых отклонений не имеет. Подобная патология нами обнаружена только у эритроцитов.

16. **Отсутствие ядра.** Эритроцит не имеет ядра, при этом в клетке отсутствуют также какие-либо признаки хроматина или его остатков (рисунок 47.4а). Это указывает не на отсутствие ядра в результате кариолизиса или хроматинолиза, а на исходное отсутствие ядерного материала в клетке.



**Рисунок 45.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азур-эозином): 1 – эритроциты щуки ( $\times 50$ ), а – кариолизис, б – эритроциты с ядром нормальной формы и размера; 2 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 100$ ), а – пикноз ядра, б – эритроциты с нормальным ядром; 3 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 100$ ), а – раздвоение ядра эритроцита; 4 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 200$ ), а – два ядра в одном эритроците, б – эритроцит с нормальным ядром, в – ацентрическое расположение ядра.



17. **Кариорексис.** При сохранении ядерной оболочки происходит распад ядра на отдельные части различной величины (рисунок 46.1а). Эти фрагменты округлой формы и резко пикнотичные, они не связаны между собой (описание по Житеневой Л.Д. и др., 1997). Кариорексис может наблюдаться и в нормобластах (рисунок 46.2а).

18. **Хроматинолиз.** Хроматин ядра клетки распадается, теряя свою нормальную структуру (рисунок 46.3а), и, в конечном итоге, растворяется совсем. При этом кариолема (ядерная оболочка) обычно сохраняется (Там же).

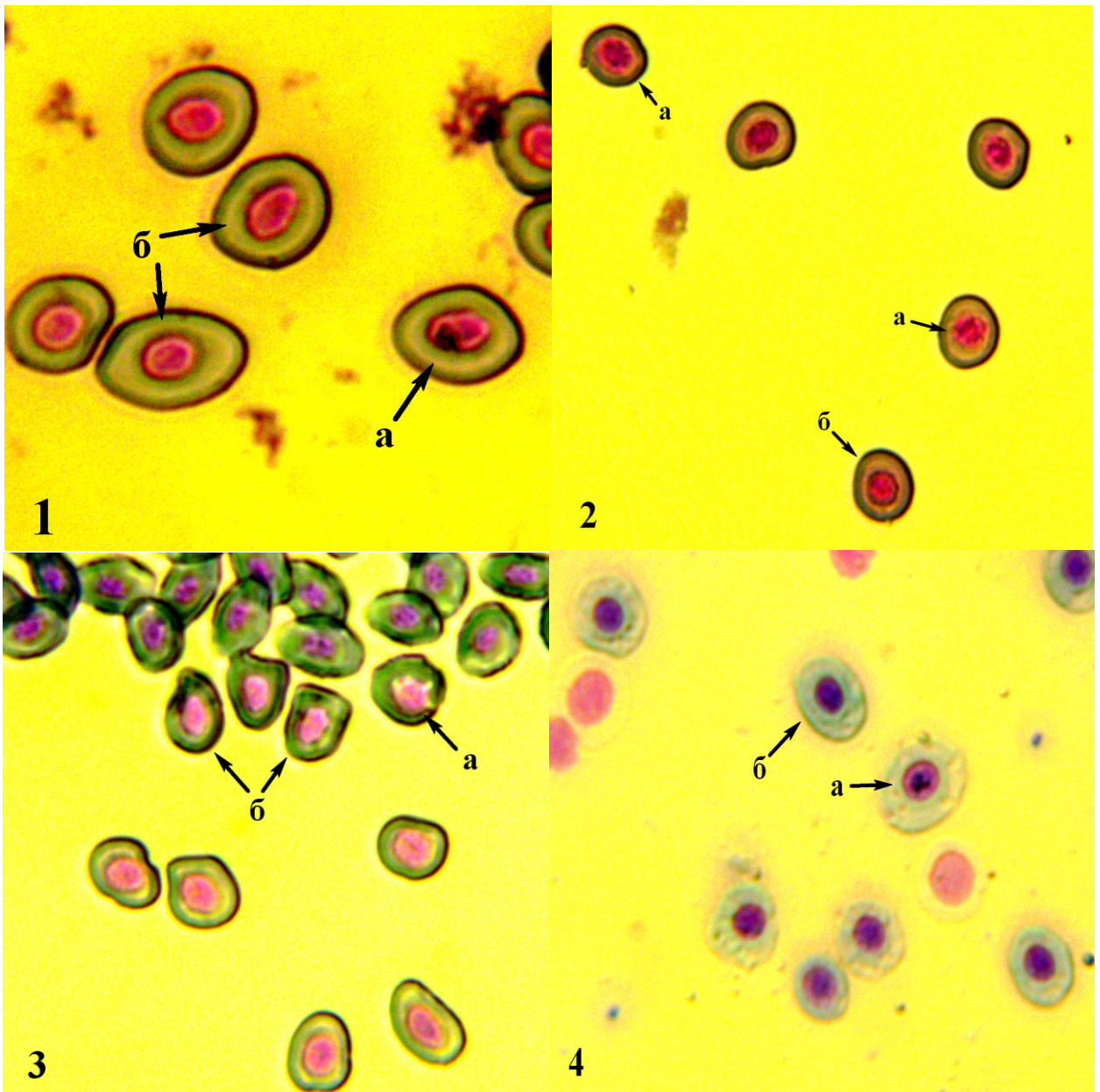
19. **Фрагментоз ядра.** От ядра отделяется ряд его фрагментов в виде хроматиновой субстанции. Тельца Жолли – структуры округлой формы (рисунок 44.4в), их количество варьирует от 1 до 3-4 шт., иногда они сохраняют связь с ядром посредством базихроматиновых нитей (Там же).

20. **Наличие микроядер.** Внутри хроматина ядра присутствуют микроядра, представляющие собой более плотные хроматиновые образования округлой формы (рисунок 46.4а). Данных образований может быть несколько, они не выходят за пределы кариолемы и имеют более темную окраску, чем основной хроматин ядра.

21. **Фестончатые края клеточной оболочки.** Оболочка эритроцита имеет один или несколько мелких округлых выростов заполненных цитоплазмой (рисунок 47.1а). Подобные образования, как правило, отделены от основного объема эритроцита более тонкой перетяжкой.

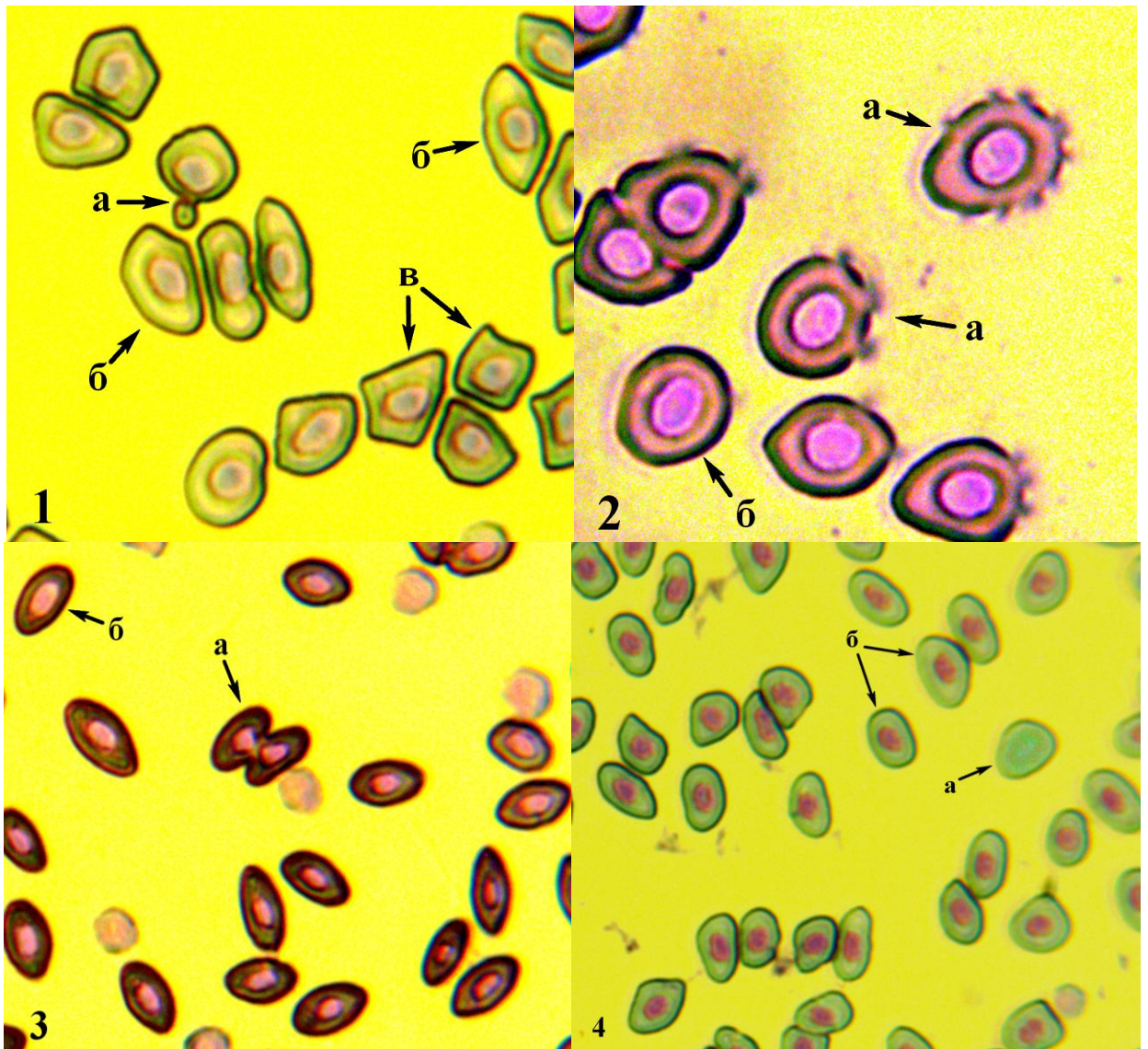
22. **Разрывы оболочки эритроцита.** Оболочка эритроцита имеет один или несколько разрывов, через которые цитоплазма выделяется в плазму крови (рисунок 47.2а). Данную патологию можно рассматривать как одну из стадий цитолиза.

23. **Раздвоение эритроцита.** Эритроцит имеет перетяжку в центральной части, которая делит как саму клетку, так и ядро на две части (рисунок 47.3а).



**Рисунок 46.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азур-эозином): 1 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 200$ ), а – кариорексис эритроцита, б – хроматин ядра в норме; 2 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 50$ ), а – начальный кариорексис эритроцита, б – хроматин ядра в норме; 3 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 50$ ), а – хроматинолиз эритроцита (видны очаги растворения хроматина), б – хроматин ядра в норме; 4 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 100$ ), а – наличие микроядер в ядре эритроцита, б – хроматин ядра в норме.





**Рисунок 47.** Основные типы патологий эритроцитов (окрашивание азур-эозином): 1 – эритроциты щуки ( $\times 100$ ), а – одиночный фестончатый вырост оболочки эритроцита, б – эритроциты без фестончатых выростов, но слабдеформированные, в – произвольная деформация эритроцитов; 2 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 200$ ), а – эритроциты с разрывами клеточной оболочки, б – клетка без разрывов оболочки; 3 – эритроциты бычка-цуцика ( $\times 50$ ), а – раздвоение эритроцита, б – нормальный зрелый эритроцит; 4 – эритроциты бычка-кругляка ( $\times 50$ ), а – отсутствие ядра эритроцита, б – нормальные эритроциты.

Обе части раздвоенной клетки соответствуют по размерам и форме нормальному эритроциту. В редких случаях при соединении обеих частей раздвоенного эритроцита перетяжкой наблюдается полное разделение ядерного материала, и в раздвоенной клетке присутствует два обособленных ядра округлой формы, но по размерам меньших, чем нормальное ядро.

В условиях Саратовского водохранилища, где уровень антропогенных загрязнений достаточно высок, среди исследованных видов рыб велика доля особей, в кровяном русле которых содержатся эритроциты с различными типами патологий. Причем, процент таких особей значителен среди всех обследованных видов рыб. Среди 2309 экземпляров из Саратовского водохранилища, изученных за весь период исследования, доля особей без абберрантных форм эритроцитов в красной крови, то есть здоровых по данному признаку, соответствовала всего 22,9% (таблица 18).

Основу популяций составили особи, в крови которых обнаруживался какой-либо единичный тип патологии эритроцита – 35,1%, либо два и более типа патологий – 42,1%.

Наименьшее количество здоровых особей зафиксировано в популяции бычка-цуцика Саратовского водохранилища (11,1%), среди рыб данного вида отмечена и самая высокая доля особей с двумя и более патологиями эритроцитов (50,8%) (таблица 18). Среди других видов рыб доля таких рыб варьировала от 16,4% у ротана-головешки, до 30,7% у бычка-головача, которые являются короткоцикловыми видами.

Наибольшее число особей без эритроцитарных патологий отмечено у щуки (27,0%), тогда как среди остальных видов доля таких особей варьировала от 20,1% у густеры до 26,95% у плотвы. Основу популяций этих видов рыб составили особи с двумя и более патологиями эритроцитов в кровяном русле – от 36,7% у леща до 41,0% у окуня, и рыбы с единичным типом патологии красных клеток – от 33,8% у плотвы до 40,4% среди уклей (таблица 18).

**Таблица 18.** Встречаемость половозрелых особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле среди рыб Саратовского водохранилища

Вид рыб	Число особей, экз.	Доля рыб без патологий эритроцитов, %	Доля рыб с патологиями эритроцитов, %	
			Особь с единственным типом патологии в кровяном русле	Особь с двумя и более типами патологий в кровяном русле
Плотва	423	26,9±2,16	33,8±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	30,7±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>

В то же время, среди бычков Саратовского водохранилища процент особей в популяции с двумя и более типами патологий эритроцитов был заметно выше, чем среди представителей карповых видов рыб – от 45,6% у бычка-головача до 50,8% у бычка-цуцика, тогда как доля рыб с единичным типом патологии незначительно отличалась от таковой среди всех видов рыб.

Общая доля особей с патологиями эритроцитов в кровяном русле среди рыб Саратовского водохранилища за весь период исследования составила 77,1%, что является прямым следствием неблагополучия обследованных популяций.

У рыб из Куйбышевского водохранилища наблюдалось аналогичное соотношение здоровых особей и особей с различным содержанием аберрантных форм эритроцитов в крови (таблица 19). Доля здоровых рыб среди всех изученных видов за весь период исследования составила всего



26,4%, что незначительно выше, чем среди рыб Саратовского водохранилища.

**Таблица 19.** Встречаемость половозрелых особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле среди рыб Куйбышевского водохранилища

Вид рыб	Число особей, экз.	Доля рыб без патологий эритроцитов, %	Доля рыб с патологиями эритроцитов, %	
			Особь с единственным типом патологии в кровяном русле	Особь с двумя и более типами патологий в кровяном русле
Плотва	127	26,8±3,94	35,4±4,26	37,8±4,32
Лещ	98	21,4±4,17	48,9±5,08	29,6±4,63
Судак	49	30,6±6,65	36,7±6,96	32,7±6,77
Бычок-кругляк	63	28,6±5,74	42,9±6,28	28,6±5,74
Бычок-головач	57	28,1±6,00	38,6±6,51	33,3±6,30
<b>Общие данные по водохранилищу</b>	<b>394</b>	<b>26,4±2,22</b>	<b>40,6±2,48</b>	<b>32,9±2,37</b>

У наибольшей доли особей (40,6%) в кровяном русле был обнаружен единичный тип патологии эритроцитов, тогда как процент особей с двумя и более типами патологий эритроцитов несколько ниже – 32,9%.

Основу популяций среди исследованных видов рыб Куйбышевского водохранилища, как и в Саратовском водохранилище, составили особи с различным содержанием в кровяном русле аберрантных форм эритроцитов – 73,6%. Среди рыб Куйбышевского водохранилища существенных различий по встречаемости особей с различным количеством патологий эритроцитов не обнаружено.

Доля здоровых рыб варьировала от 21,4% у леща до 30,6% у судака, то есть количество рыб без патологий эритроцитов в разных популяциях Куйбышевского водохранилища не превышало трети. Это является следствием достаточно высокого уровня загрязнения Куйбышевского водохранилища (см. главу 1.2), воды которого содержат целый комплекс

поллютантов техногенного происхождения, как и в Саратовском водохранилище. В данном случае сходство уровня и состава техногенного загрязнения обоих исследованных водоемов играет определяющую роль в аналогичном распределении здоровых особей и рыб с различным уровнем аберрантных эритроцитов в крови, даже при некоторых различиях гидрологического режима и общих параметров Саратовского и Куйбышевского водохранилищ.

Уровень загрязнений в притоках водохранилищ отличается от такового в самих водохранилищах. Из-за достаточно высокой скорости течения в большинстве изученных водотоков загрязнения различного происхождения имеют, как правило, очаговый и непостоянный характер, в результате чего популяции рыб находятся в более благоприятных экологических условиях, чем водохранилищные популяции. Загрязнения водохранилищ, зачастую, имеют более обширный по площади и устойчивости характер загрязнения, особенно в обширных пойменных участках, где присутствуют застойные зоны с отсутствием течения, а загрязнители имеют свойство накапливаться.

При исследовании таких притоков Саратовского водохранилища как рр. Самара (приток первого порядка), Съезжая и Большой Кинель (притоки второго порядка) установлено, что основу популяций массовых видов рыб из этих рек составляли особи без патологий эритроцитов в кровяном русле (таблица 20). Общая доля таких рыб среди всех обследованных составила более половины – 54,1%, а среди отдельных видов варьировала от 39,6 (бычок-кругляк, р. Самара) до 67,4% (уклея, р. Съезжая).

Среди бычка-кругляка, обитающего в основном в устьевом участке р. Самара, где концентрация загрязняющих веществ наиболее велика из-за застойных явлений и подтопления Саратовским водохранилищем, доля здоровых особей была наиболее низка, в то время как у аборигенных рыб минимальный процент таких особей составлял 44,4% (плотва, р. Съезжая).

Встречаемость особей с единичным типом патологии эритроцита в кровяном русле среди аборигенных рыб из разных притоков примерно

одинакова (от 23,7% у плотвы из р. Самара, до 33,3% у плотвы из р. Большой Кинель), тогда как у бычка-кругляка из устьевоего участка р. Самара она составляла 35,9%. Общая встречаемость таких особей среди всех обследованных рыб из притоков Саратовского водохранилища не превышала 28,9%.

**Таблица 20.** Встречаемость половозрелых особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле среди видов рыб из некоторых притоков Саратовского водохранилища

Приток	Вид	Число рыб, 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
р. Б. Кинель	Плотва	57	54,4±6,66	26,3±5,88	19,3±5,27
р. Съезжая	Плотва	54	44,4±6,83	33,3±6,48	22,2±5,71
	Уклея	43	67,4±7,23	25,6±6,73	6,9±3,93
р. Самара	Плотва	59	66,1±6,22	23,7±5,59	10,2±3,97
	Бычок-кругляк	53	39,6±6,78	35,9±6,65	24,5±5,97
<b>Общие данные</b>		<b>266</b>	<b>54,1±3,06</b>	<b>28,9±2,79</b>	<b>16,9±2,30</b>

Количество особей с двумя и более типами аномалий эритроцитов в крови варьирует от 6,9% у уклеи (р. Съезжая) до 24,5% у бычка-кругляка (устьевой участок р. Самара) (таблица 20). В популяциях рыб из притоков Саратовского водохранилища процент таких особей тем меньше, чем дальше от акватории самого водохранилища находились участки вылова обследованных особей.

Аналогичная ситуация наблюдалась и в притоках Куйбышевского водохранилища (таблица 21). Основу популяций рыб в рр. Большой Черемшан (приток первого порядка), Ува и Нылга (притоки пятого порядка) составляли особи без аномальных эритроцитов в кровяном русле, их доля варьировала от 45,9% у уклеи (р. Б. Черемшан) до 66,7% у плотвы и уклеи (р.

Ува). В р. Ува у обследованных особей наблюдался наиболее низкий процент особей с двумя и более патологиями эритроцитов – 2,1% у плотвы и 4,8% среди уклей.

**Таблица 21.** Встречаемость половозрелых особей с различным количеством патологий эритроцитов в кровяном русле среди рыб из некоторых притоков Куйбышевского водохранилища

Приток	Вид	Число рыб, экз.	Доля рыб без патологий эритроцитов, %	Доля рыб с патологиями эритроцитов, %	
				Особь с единственным типом патологии в кровяном русле	Особь с двумя и более типами патологий в кровяном русле
р. Большой Черемшан	Плотва	67	50,8±6,15	28,4±5,55	20,9±5,00
	Уклея	37	45,9±8,31	37,8±8,08	16,2±6,14
р. Ува	Плотва	48	66,7±6,88	31,3±6,76	2,1±2,08
	Уклея	63	66,7±5,99	28,6±5,74	4,8±2,70
р. Нылга	Плотва	61	63,9±6,19	31,2±5,98	4,9±2,79
	Уклея	57	63,2±6,45	29,8±6,11	7,0±3,41
р. Позимь	Плотва	54	29,6±6,27	7,4±3,59	62,9±6,63
	Уклея	52	15,4±5,05	13,5±4,78	71,2±6,34
<b>Общие данные</b>		<b>439</b>	<b>51,0±2,39</b>	<b>25,7±2,09</b>	<b>23,2±2,02</b>

В р. Большой Черемшан количество таких особей не превышало 16,2% у уклей и 20,9% у плотвы (таблица 21). Около трети всех обследованных особей из трех притоков Куйбышевского водохранилища имели в кровяном русле какой-либо единичный тип патологии эритроцитов. Исключение составили особи плотвы и уклей из р. Позимь, являющейся притоком Куйбышевского водохранилища третьего порядка. Все обследованные особи были выловлены в городской черте г. Ижевск, где уровень загрязнения водных масс техногенными поллютантами достаточно высок (см. главу 1.2), и рыбы находятся под их хроническим воздействием. В этих условиях процент особей с двумя и более типами aberrantных эритроцитов достигал 62,9% у плотвы и 71,2% среди уклей, то есть такие особи составляли основу

популяции (таблица 21). Лишь 15,4% особей уклей и 29,6% плотвы являлись здоровыми по данному признаку, то есть не имели в крови патологических эритроцитов.

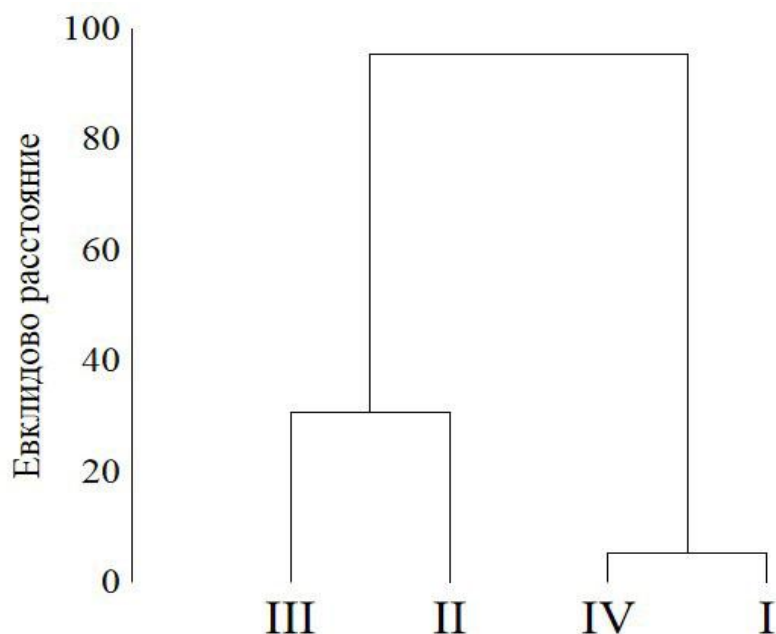
Тем не менее, общая доля рыб без патологий эритроцитов в популяциях притоков Куйбышевского водохранилища аналогична таковой в притоках Саратовского водохранилища и составляет 51,0%, тогда как 25,7% рыб имеют в крови единичный тип клеточной патологии, а 23,2% - две и более патологии эритроцитов (таблица 21).

Выявлена прямая зависимость встречаемости особей с различным уровнем патологий эритроцитов в кровяном русле от экологического состояния исследуемого водоема. Чем ниже уровень техногенного загрязнения водоема и устойчивость параметров данного загрязнения, тем больше доля здоровых рыб в исследуемых популяциях. Установлено также, что соотношение здоровых особей и рыб с различным уровнем патологий эритроцитов в кровяном русле практически не зависит от видовой принадлежности, а определяется лишь уровнем загрязнения в местах обитания тех или иных видов рыб. Данные кластерного анализа подтверждают достоверность различия между исследованными водоемами с различным уровнем загрязнения по встречаемости половозрелых особей с патологиями эритроцитов (рисунок 48).

По результатам кластерного анализа встречаемости рыб с патологиями эритроцитов в разных условиях выделяются 2 пространственные группировки (кластера). Наибольшим сходством (в 46%) характеризуются условия в самих Волжских водохранилищах (кластер I) и во втором контроле (кластер IV – р. Позимь), характеризующиеся стабильно высоким уровнем загрязнения и высокой встречаемостью особей с патологиями эритроцитов.

Водоемы со средним уровнем загрязнения (II) и с минимальным уровнем загрязнения или полным его отсутствием (III) объединились в другой кластер, то есть сходство данных водоемов по встречаемости рыб с патологиями эритроцитов с кластером I–IV является незначительным.

Сходство водоемов внутри кластера II–III также является низким (в 21%), что подтверждает различие между средне загрязненными притоками (II) и реками, не испытывающими антропогенной нагрузки (III).



**Рисунок 48.** Дендрограмма сходства водоемов с различным уровнем загрязнения по встречаемости взрослых рыб с патологиями эритроцитов (%) (для всех видов рыб) в (по Брею-Кёртису): I – Водоемы с постоянным стабильно высоким уровнем загрязнения (Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское водохранилища и Волго-Ахтубинская пойма), II – Водоемы со средним уровнем загрязнения, имеющим локальный и временный характер (притоки водохранилищ 1-го и 2-го порядка), III – Контроль 1. Водоемы с минимальным уровнем антропогенной нагрузки и очаговым характером загрязнения (р. Нылга и р. Ува – притоки Куйбышевского водохранилища 5-го порядка), IV – Контроль 2. Приток Куйбышевского водохранилища 3-го порядка – р. Позимь, с постоянным и высоким уровнем загрязнения.

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

Наибольшее разнообразие патологий эритроцитов обнаружено у рыб Саратовского водохранилища (таблицы 22, 23). При этом у представителей видов бычков и ротана-головешки зафиксировано на два типа патологий больше, чем у карповых рыб, окуня и щуки.

**Таблица 22.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови среди бычковых рыб Саратовского водохранилища

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у разных видов рыб			
	бычок-кругляк	бычок-головач	бычок-цуцик	ротан-головешка
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1. Произвольная деформация эритроцита	$\frac{36,5 \pm 2,42}{12,49 (0,25-72,00)}$	$\frac{24,4 \pm 3,77}{10,91 (1,75-78,00)}$	$\frac{15,8 \pm 4,21}{17,85 (3,25-69,25)}$	$\frac{41,5 \pm 2,57}{10,86 (0,75-57,90)}$
2. Ацентрическое расположение ядра	$\frac{20,3 \pm 2,02}{3,64 (0,50-9,25)}$	$\frac{16,0 \pm 3,22}{2,74 (0,50-7,75)}$	$\frac{11,8 \pm 3,73}{4,03 (0,50-10,25)}$	$\frac{17,3 \pm 1,97}{5,17 (0,25-23,75)}$
3. Вакуолизация цитоплазмы	$\frac{4,6 \pm 1,05}{7,22 (0,50-21,50)}$	$\frac{4,6 \pm 1,83}{4,88 (0,75-10,50)}$	$\frac{2,6 \pm 1,85}{3,63 (3,25-4,50)}$	$\frac{7,3 \pm 1,36}{17,49 (0,25-91,10)}$
4. Вздутие эритроцита	$\frac{0,5 \pm 0,36}{0,63 (0,50-0,75)}$	-	$\frac{17,1 \pm 4,35}{3,48 (0,50-10,75)}$	$\frac{4,3 \pm 1,03}{27,51 (5,75-72,00)}$
5. Сморщивание эритроцита	$\frac{6,8 \pm 1,27}{20,76 (0,50-100,0)}$	$\frac{5,3 \pm 1,97}{5,04 (0,75-14,25)}$	$\frac{11,8 \pm 3,37}{6,69 (0,50-10,50)}$	$\frac{6,5 \pm 1,29}{15,36 (0,50-67,00)}$
6. Шистоцитоз (цитоллиз)	$\frac{1,8 \pm 0,66}{0,75 (0,50-1,75)}$	$\frac{1,5 \pm 1,08}{1,13 (1,00-1,25)}$	$\frac{3,9 \pm 2,25}{18,42 (0,50-54,00)}$	$\frac{2,7 \pm 0,85}{9,56 (1,00-37,50)}$
7. Веретеновидная деформация эритроцита	$\frac{2,8 \pm 0,83}{9,50 (0,25-53,25)}$	$\frac{11,5 \pm 2,79}{4,78 (0,50-28,00)}$	$\frac{3,9 \pm 2,25}{5,83 (3,25-7,25)}$	$\frac{1,1 \pm 0,54}{4,63 (0,50-17,00)}$
8. Каплевидная деформация эритроцита	$\frac{9,6 \pm 1,49}{2,45 (0,25-11,75)}$	$\frac{7,6 \pm 2,33}{1,13 (0,50-2,25)}$	-	$\frac{0,8 \pm 0,47}{1,50 (0,50-2,00)}$
9. Палочковидная деформация эритроцита	$\frac{1,3 \pm 0,56}{3,40 (0,75-11,25)}$	$\frac{2,3 \pm 1,31}{1,08 (0,50-2,00)}$	-	$\frac{0,5 \pm 0,38}{1,88 (1,25-2,50)}$
10. Серповидная деформация эритроцита	$\frac{1,8 \pm 0,66}{0,96 (0,25-3,75)}$	$\frac{5,3 \pm 1,97}{0,71 (0,50-1,00)}$	-	-
11. Деформация ядра	$\frac{4,1 \pm 0,99}{3,48 (2,25-7,00)}$	$\frac{3,8 \pm 1,68}{3,47 (0,50-12,50)}$	$\frac{3,9 \pm 2,25}{4,92 (3,00-6,50)}$	$\frac{5,2 \pm 1,15}{4,11 (0,75-7,50)}$
12. Кариолизис	$\frac{3,3 \pm 0,89}{4,16 (0,50-9,20)}$	$\frac{3,1 \pm 1,51}{2,19 (0,50-4,25)}$	$\frac{3,9 \pm 2,25}{4,33 (1,00-6,00)}$	$\frac{3,1 \pm 0,85}{3,75 (0,50-14,00)}$
13. Пикноз	$\frac{0,8 \pm 0,44}{1,42 (0,50-3,00)}$	$\frac{2,3 \pm 1,31}{7,83 (2,00-18,50)}$	$\frac{2,6 \pm 1,85}{0,88 (0,75-1,00)}$	$\frac{1,6 \pm 0,66}{1,88 (0,25-3,00)}$

**Таблица 22. Окончание.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
14. Раздвоение ядра эритроцита	$\frac{0,8 \pm 0,44}{1,33 (0,50-3,00)}$	$\frac{1,5 \pm 1,08}{1,63 (0,25-3,00)}$	$\frac{1,3 \pm 1,32}{0,25}$	$\frac{1,4 \pm 0,60}{1,04 (0,20-2,25)}$
15. Два ядра в одном эритроците	$\frac{0,8 \pm 0,44}{0,33 (0,25-0,50)}$	$\frac{3,1 \pm 1,51}{0,38 (0,25-0,50)}$	$\frac{3,9 \pm 2,25}{0,33 (0,25-0,50)}$	$\frac{4,1 \pm 1,03}{1,14 (0,25-3,70)}$
16. Отсутствие ядра	$\frac{0,3 \pm 0,25}{0,25}$	$\frac{0,8 \pm 0,76}{0,25}$	-	$\frac{0,3 \pm 0,27}{0,25}$
17. Кариорексис	$\frac{0,8 \pm 0,44}{0,58 (0,50-0,75)}$	$\frac{0,8 \pm 0,76}{2,75}$	$\frac{14,5 \pm 4,06}{1,00 (0,25-2,50)}$	-
18. Хроматинолиз	$\frac{0,25 \pm 0,25}{2,75}$	-	-	-
19. Фрагментоз ядра	$\frac{0,5 \pm 0,36}{0,63 (0,50-0,75)}$	-	-	$\frac{0,5 \pm 0,38}{16,45 (14,50-18,40)}$
20. Наличие микроядер	$\frac{0,5 \pm 0,36}{18,75 (3,25-34,25)}$	-	-	-
21. Фестончатые края клеточной оболочки	$\frac{1,8 \pm 0,66}{1,93 (0,25-6,00)}$	$\frac{3,8 \pm 1,68}{5,20 (0,75-12,00)}$	$\frac{2,6 \pm 1,85}{3,13 (0,25-6,00)}$	-
22. Разрывы оболочки эритроцита	$\frac{0,5 \pm 0,36}{0,75 (0,50-1,00)}$	-	-	-
23. Раздвоение эритроцита	-	-	-	$\frac{0,3 \pm 0,27}{0,25}$

Примечание: здесь и далее: числитель – доля особей с данным видом патологии эритроцита  $\pm$  ошибка встречаемости (%); знаменатель – средняя встречаемость данного типа патологии эритроцита в красной крови (min – max встречаемость эритроцитов с данным типом патологии в красной крови отдельных особей) (%); “ - ” – данный тип патологии эритроцита не обнаружен.



**Таблица 23.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови среди карповых рыб, окуня и щуки Саратовского водохранилища

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у разных видов рыб					
	плотва	лещ	густера	укляя	окунь	щука
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1. Произвольная деформация эритроцита	$56,0 \pm 2,42$ 12,42(0,25-64,00)	$61,2 \pm 2,75$ 15,41(0,10-84,00)	$49,8 \pm 2,89$ 20,23(1,40-81,90)	$50,0 \pm 2,45$ 17,05(1,00-42,75)	$41,3 \pm 2,69$ 17,22(1,20-44,00)	$41,4 \pm 5,31$ 15,36(1,25-36,00)
2. Ацентрическое расположение ядра	$11,8 \pm 1,57$ 2,89(0,25-6,50)	$17,2 \pm 2,13$ 3,39(0,30-7,00)	$27,1 \pm 2,57$ 4,25(0,70-12,60)	$21,1 \pm 1,99$ 11,53(0,25-26,25)	$26,1 \pm 2,41$ 5,79(0,70-18,40)	$9,2 \pm 3,12$ 0,27(0,50-7,25)
3. Вакуолизация цитоплазмы	$6,9 \pm 1,23$ 5,63(0,30-19,80)	$4,8 \pm 1,21$ 6,65(0,30-21,90)	-	$12,2 \pm 1,60$ 21,79(0,50-34,25)	$7,5 \pm 1,44$ 6,68(0,50-18,50)	$13,8 \pm 3,72$ 3,83(0,50-11,50)
4. Вздутие эритроцита	$8,8 \pm 1,38$ 27,52(0,75-100,0)	$1,6 \pm 0,71$ 34,00(0,50-100,0)	$3,3 \pm 1,04$ 39,74(4,80-95,00)	-	$5,4 \pm 1,24$ 17,33(0,25-78,00)	$9,2 \pm 3,12$ 2,25(0,75-3,75)
5. Сморщивание эритроцита	$14,7 \pm 1,72$ 21,47(3,25-82,25)	$2,6 \pm 0,89$ 36,53(5,25-91,00)	$2,7 \pm 0,94$ 31,58(5,60-87,20)	$7,4 \pm 1,28$ 11,69(0,75-32,75)	$7,8 \pm 1,47$ 13,46(0,50-54,50)	-
6. Шистоцитоз (цитоллиз)	$8,8 \pm 1,38$ 29,84(0,50-94,5)	$4,1 \pm 1,13$ 39,65(0,50-100,0)	$6,7 \pm 1,45$ 66,51(1,50-100,0)	$2,2 \pm 0,71$ 4,79(0,25-12,75)	$1,5 \pm 0,66$ 5,65(0,50-11,75)	$2,3 \pm 1,61$ 0,75(0,25-1,25)
7. Веретеновидная деформация эритроцита	$5,2 \pm 1,08$ 3,46(1,25-5,75)	$0,9 \pm 0,55$ 3,27(1,50-6,50)	$3,0 \pm 0,99$ 21,10(3,20-71,80)	$1,7 \pm 0,63$ 6,36(0,50-21,75)	$1,5 \pm 0,66$ 33,70(0,75-85,00)	$13,8 \pm 3,72$ 14,75(0,75-35,75)
8. Каплевидная деформация эритроцита	-	$0,6 \pm 0,45$ 2,25(0,75-3,75)	-	-	-	-
11. Деформация ядра	$0,7 \pm 0,41$ 1,45(0,30-5,25)	$2,2 \pm 0,83$ 3,45(0,50-9,00)	$2,7 \pm 0,94$ 12,59(0,40-40,50)	-	$2,1 \pm 0,78$ 2,06(0,25-6,15)	$1,2 \pm 1,15$ 4,25
12. Кариолизис	-	$2,2 \pm 0,83$ 1,09(0,10-3,33)	$1,0 \pm 0,55$ 2,73(1,40-4,60)	$3,1 \pm 0,85$ 3,75(0,50-14,00)	$2,1 \pm 0,78$ 2,12(0,40-5,25)	$4,6 \pm 2,26$ 1,19(0,25-2,75)
13. Пикноз	$0,7 \pm 0,41$ 0,64(0,10-1,75)	$1,6 \pm 0,71$ 0,92(0,10-2,18)	$0,7 \pm 0,47$ 0,60(0,40-0,80)	$1,7 \pm 0,63$ 0,89(0,25-2,25)	$0,9 \pm 0,52$ 0,52(0,25-1,00)	$2,3 \pm 1,61$ 0,88(0,50-1,25)
14. Раздвоение ядра	-	$0,3 \pm 0,32$ 0,50	-	$0,7 \pm 0,41$ 0,67(0,50-0,75)	-	$1,2 \pm 1,15$ 0,75
15. Два ядра в одном эритроците	-	$0,3 \pm 0,32$ 0,40	$1,3 \pm 0,67$ 8,48(0,25-30,00)	-	$2,1 \pm 0,78$ 2,79(0,25-9,25)	$1,2 \pm 1,15$ 0,25

**Таблица 23. Окончание.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
16. Отсутствие ядра	-	$\frac{0,3 \pm 0,32}{0,10}$	$\frac{0,3 \pm 0,33}{0,50}$	-	-	-
17. Кариорексис	$\frac{0,5 \pm 0,33}{2,14(1,65-3,25)}$	-	$\frac{1,3 \pm 0,67}{5,53(2,80-10,80)}$	-	$\frac{0,3 \pm 0,30}{0,50}$	-
18. Хроматинолиз	$\frac{0,7 \pm 0,41}{1,25(0,25-1,50)}$	-	-	-	-	-
19. Фрагментоз ядра	$\frac{1,4 \pm 0,58}{1,18(0,10-2,75)}$	-	-	-	-	-
20. Наличие микроядер	-	-	-	-	$\frac{0,6 \pm 0,42}{11,38(3,25-19,50)}$	-
21. Фестончатые края клеточной оболочки	-	-	-	-	$\frac{0,9 \pm 0,52}{2,88(0,75-5,75)}$	-

Как среди представителей бычковых видов рыб Саратовского водохранилища, так и среди карповых, в кровяном русле доминирующими являлись лишь некоторые типы патологий. Так, среди бычка-кругляка, бычка-головача и ротана-головешки встречаемость особей с произвольной деформацией эритроцитов в кровяном русле составила 36,5, 24,4 и 41,5% соответственно. Среднее количество таких деформированных эритроцитов в крови обозначенных видов также достаточно велико – 12,5, 10,9 и 10,36% соответственно, при максимальном количестве клеток с данным типом патологии, у отдельных особей, до 72,0 (бычок-кругляк), 78,0 (бычок-головач), 69,3 (бычок-цуцик) и 57,9% (ротан-головешка).

Аналогичная ситуация по встречаемости особей с произвольной деформацией эритроцитов в кровяном русле наблюдалась и у других видов рыб Саратовского водохранилища. Их количество в популяциях варьировало 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 и максимальная встречаемость деформированных эритроцитов в крови отдельных особей карповых видов рыб – от 34,0% aberrantных эритроцитов у леща до 81,9% у густеры (таблица 23). Таким образом, произвольная деформация эритроцита является наиболее распространенной и массовой клеточной патологией у всех обследованных видов рыб Саратовского водохранилища.

Широко распространенными патологиями эритроцитов у всех или большинства видов рыб Саратовского водохранилища являлись также ацентрическое расположение ядра (от 9,2% особей среди щуки до 27,1% у леща), вакуолизация цитоплазмы эритроцита (от 2,6% особей среди бычка-цуцика до 13,8% у щуки), вздутие эритроцита (до 17,1% среди бычка-цуцика), сморщивание эритроцита (до 14,7% особей среди плотвы), шистоцитоз (до 8,8% особей среди плотвы) и веретеновидная деформация эритроцита (до 11,5% особей среди бычка-головача и 13,8% среди щуки) (таблицы 22 и 23).

Такие патологии эритроцитов как пикноз и кариолизис также обнаружены у всех или большинства обследованных видов рыб Саратовского водохранилища (среди плотвы таких особей не было встречено), однако доля таких особей в популяциях невелика и не превышает 4,6% среди щуки (кариолизис) и 2,6% среди бычка-цуцика (пикноз). Невысоки были и показатели средней встречаемости эритроцитов с такими патологиями в кровяном русле и максимальная встречаемость этих клеток в крови отдельных особей (таблицы 22 и 23).

Некоторые патологии – отсутствие ядра эритроцита и хроматинолиз обнаруживались у лишь единичных представителей ихтиофауны за весь период исследования. Так безъядерные эритроциты зафиксированы у бычка-кругляка (1 особь), бычка-головача (1 особь), ротана-головешки (1 особь), леща (1 особь) и густеры (1 особь), а хроматинолиз лишь у бычка-кругляка (1 особь) и плотвы (2 особи), то есть у представителей видов рыб Саратовского водохранилища, относящихся к разным семействам. Двухъядерные эритроциты у рыб Саратовского водохранилища обнаруживались в два раза чаще, однако среди плотвы и уклейи особей с такой патологией не встречено за весь период исследования.

Наиболее редко у рыб обнаруживались раздвоение эритроцита – единично у ротана-головешки, разрывы оболочки эритроцита – дважды у бычка-кругляка, и наличие микроядер в эритроците – по две особи среди бычка-кругляка и плотвы (таблицы 22 и 23).

В трех обследованных притоках Саратовского водохранилища встречаемость особей с различными типами патологий среди рыб разных видов отличалась значительно (таблица 24). У рыб из этих водоемов обнаружено всего 11 типов патологий эритроцитов, что в два раза меньше, чем у рыб Саратовского водохранилища.

Только четыре типа обнаруженных патологий зафиксированы у всех трех массовых видов рыб во всех малых реках: произвольная деформация эритроцита (от 34,3% особей плотвы р. Самара до 45,7% особей плотвы из р.

Съезжая), ацентрическое расположение ядра (от 23,3% особей среди бычка-кругляка из р. Самара до 31,4% у плотвы из р. Самара), вакуолизация цитоплазмы эритроцита (от 8,2% среди плотвы из р. Большой Кинель до 15,0% у бычка-кругляка из р. Самара) и кариолизис (от 6,5% среди плотвы из р. Съезжая до 8,7% среди уклейи из р. Съезжая) (таблица 24). Остальные обнаруженные типы аномалий эритроцитов встречались у рыб разных видов редко, либо единично, и не во всех обследованных притоках.

Такие патологии как веретеновидная деформация эритроцита, деформация ядра эритроцита и пикноз, которые обнаруживались в большом количестве у всех обследованных видов рыб в Саратовском водохранилище, в его притоках зафиксированы лишь у 2 особей плотвы из р. Самара (деформация ядраэритроцита), 1 особи уклейи из р. Съезжая (пикноз) и 5 особей плотвы из р. Б. Кинель (веретеновидная деформация клетки). Каплевидная деформация эритроцита встречена только у бычка-кругляка из устьевого участка р. Самара (4 особи), а фрагментоз ядра эритроцита – только у 2 особей плотвы из р. Б. Кинель, но эти типы патологий были редки и в самом водохранилище.

Таким образом, в водотоках с более благоприятными для рыб экологическими условиями, какими являются реки – притоки Саратовского водохранилища, по сравнению с водохранилищами, отмечены как меньшее разнообразие обнаруженных типов эритроцитарных патологий, так и более низкая доля особей в популяциях разных видов с различными аномалиями эритроцитов в кровяном русле.

Значительно ниже в притоках, чем в Саратовском водохранилище, такие показатели, как среднее содержание эритроцитов с отдельными типами патологий в красной крови и максимальное содержание патологических эритроцитов в крови отдельных особей (таблица 24).

Аналогичная ситуация характерна и для рыб Куйбышевского водохранилища и его притоков (таблицы 25-27).

**Таблица 24.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови среди рыб из некоторых притоков Саратовского водохранилища

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у разных видов рыб из притоков Саратовского водохранилища				
	р. Самара		р. Съезжая		р. Большой Кинель
	плотва	бычок-кругляк	плотва	укляя	плотва
1. Произвольная деформация эритроцита	$\frac{34,3 \pm 8,14}{2,31 (0,25-8,25)}$	$\frac{35,0 \pm 6,21}{4,59 (0,25-21,50)}$	$\frac{45,7 \pm 7,43}{2,11 (0,25-9,25)}$	$\frac{39,1 \pm 10,41}{1,44 (0,25-4,50)}$	$\frac{34,7 \pm 6,87}{10,00 (0,25-24,75)}$
2. Ацентрическое расположение ядра	$\frac{31,4 \pm 7,96}{1,16 (0,25-3,75)}$	$\frac{23,3 \pm 5,51}{3,32 (0,25-11,25)}$	$\frac{28,3 \pm 6,71}{1,75 (0,25-4,50)}$	$\frac{30,4 \pm 9,81}{1,00 (0,25-3,25)}$	$\frac{24,5 \pm 6,21}{3,89 (0,25-11,75)}$
3. Вакуолизация цитоплазмы	$\frac{14,3 \pm 6,00}{1,15 (0,25-3,25)}$	$\frac{15,0 \pm 4,65}{2,28 (0,25-7,50)}$	$\frac{10,9 \pm 4,64}{3,55 (0,25-9,00)}$	$\frac{13,0 \pm 7,18}{0,33 (0,25-0,50)}$	$\frac{8,2 \pm 3,95}{6,44 (3,50-9,25)}$
6. Шистоцитоз (цитоллиз)	$\frac{5,7 \pm 3,98}{0,88 (0,50-1,25)}$	$\frac{8,3 \pm 3,59}{2,65 (0,25-12,25)}$	-	-	$\frac{6,1 \pm 3,46}{0,75 (0,25-1,25)}$
7. Веретеновидная деформация эритроцита	-	-	-	-	$\frac{10,2 \pm 4,37}{2,30 (0,25-7,00)}$
8. Каплевидная деформация эритроцита	-	$\frac{6,7 \pm 3,25}{1,63 (0,50-3,00)}$	-	-	-
11. Деформация ядра	$\frac{5,7 \pm 3,98}{1,63 (0,50-2,75)}$	-	-	-	-
12. Кариолизис	$\frac{8,6 \pm 4,80}{0,67 (0,25-1,25)}$	$\frac{8,3 \pm 3,59}{1,95 (0,25-8,50)}$	$\frac{6,5 \pm 3,68}{0,50 (0,25-1,00)}$	$\frac{8,7 \pm 6,01}{0,38 (0,25-0,50)}$	$\frac{8,2 \pm 3,95}{1,44 (0,25-3,75)}$
13. Пикноз	-	-	-	$\frac{4,4 \pm 4,35}{0,25}$	-
19. Фрагментоз ядра	-	-	-	-	$\frac{4,1 \pm 2,86}{1,88 (0,25-3,50)}$
21. Фестончатые края клеточной оболочки	-	$\frac{3,3 \pm 2,34}{0,63 (0,25-1,00)}$	$\frac{8,7 \pm 4,19}{0,50 (0,25-1,00)}$	$\frac{4,4 \pm 4,35}{0,25}$	$\frac{4,1 \pm 2,86}{2,00 (1,50-2,50)}$

**Таблица 25.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови среди рыб Куйбышевского водохранилища

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у разных видов рыб				
	плотва	Лещ	судак	бычок-кругляк	бычок-головач
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1. Произвольная деформация эритроцита	$\frac{30,7 \pm 3,59}{12,67 (0,20-79,25)}$	$\frac{21,5 \pm 3,75}{20,42 (0,50-74,25)}$	$\frac{57,9 \pm 6,59}{9,02 (1,75-23,50)}$	$\frac{33,8 \pm 5,65}{10,96 (2,50-22,75)}$	$\frac{49,3 \pm 2,46}{15,11 (1,00-35,50)}$
2. Ацентрическое расположение ядра	$\frac{17,5 \pm 2,96}{12,30 (0,25-34,75)}$	$\frac{19,8 \pm 3,64}{10,73 (0,25-36,50)}$	$\frac{26,3 \pm 5,88}{2,00 (0,50-4,00)}$	$\frac{22,5 \pm 4,99}{2,72 (0,75-8,00)}$	$\frac{26,1 \pm 5,33}{1,94 (0,50-6,50)}$
3. Вакуолизация цитоплазмы	$\frac{13,3 \pm 2,64}{7,38 (0,25-37,75)}$	$\frac{15,7 \pm 3,32}{7,50 (0,25-38,25)}$	-	$\frac{21,1 \pm 4,88}{7,45 (3,75-11,25)}$	$\frac{1,5 \pm 1,45}{3,00}$
4. Вздутие эритроцита	-	-	-	-	$\frac{2,9 \pm 2,03}{5,55 (3,75-7,25)}$
5. Сморщивание эритроцита	$\frac{12,7 \pm 2,59}{18,74 (0,50-81,25)}$	$\frac{9,9 \pm 2,73}{31,96 (0,50-79,75)}$	$\frac{7,0 \pm 3,41}{4,88 (1,50-10,75)}$	$\frac{4,2 \pm 2,41}{4,17 (1,75-7,25)}$	$\frac{11,6 \pm 3,88}{6,88 (1,75-14,50)}$
6. Шистоцитоз (цитолиз)	$\frac{5,7 \pm 3,98}{0,88 (0,50-1,25)}$	$\frac{2,5 \pm 1,42}{40,08 (8,25-67,75)}$	-	$\frac{2,8 \pm 1,98}{1,00}$	$\frac{1,5 \pm 1,45}{2,25}$
7. Веретеновидная деформация эритроцита	$\frac{5,4 \pm 1,76}{2,61 (0,50-6,75)}$	$\frac{6,6 \pm 2,27}{3,44 (0,75-8,75)}$	$\frac{3,5 \pm 2,46}{5,75 (3,75-7,75)}$	-	$\frac{2,9 \pm 2,03}{4,63 (2,25-7,00)}$
8. Каплевидная деформация эритроцита	-	$\frac{4,1 \pm 1,82}{1,35 (0,25-4,25)}$	-	-	-
11. Деформация ядра	$\frac{4,2 \pm 1,57}{4,11 (0,75-10,00)}$	-	$\frac{5,3 \pm 2,98}{0,42 (0,25-0,75)}$	$\frac{12,7 \pm 3,98}{1,42 (0,50-2,25)}$	-
12. Кариолизис	$\frac{6,6 \pm 1,94}{1,90 (0,25-3,75)}$	$\frac{7,4 \pm 2,39}{1,72 (0,25-4,25)}$	-	$\frac{2,8 \pm 1,98}{1,88 (1,50-2,25)}$	$\frac{2,9 \pm 2,03}{8,13 (1,00-15,25)}$
13. Пикноз	$\frac{7,2 \pm 2,02}{1,78 (0,20-4,25)}$	$\frac{8,3 \pm 2,51}{2,95 (0,25-6,75)}$	-	-	-
14. Раздвоение ядра эритроцита	$\frac{1,2 \pm 0,85}{1,13 (0,50-1,75)}$	$\frac{2,3 \pm 1,42}{3,00 (1,25-4,00)}$	-	-	$\frac{1,5 \pm 1,45}{3,00}$
17. Кариорексис	-	$\frac{1,7 \pm 1,16}{0,38 (0,25-0,50)}$	-	-	-

**Таблица 26.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови плотвы и уклей из р. Большой Черемшан (приток Куйбышевского водохранилища 1-го порядка)

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у изученных видов рыб	
	плотва	уклея
1. Произвольная деформация эритроцита	$45,1 \pm 7,04$ 3,07 (0,25-11,75)	$40,7 \pm 9,64$ 2,39 (0,25-10,50)
2. Ацентрическое расположение ядра	$29,4 \pm 6,44$ 3,75 (0,25-1,20)	$26,6 \pm 8,96$ 1,72 (0,25-5,25)
6. Шистоцитоз (цитоллиз)	$7,8 \pm 3,80$ 0,56 (0,25-1,25)	-
8. Каплевидная деформация эритроцита	$5,9 \pm 3,33$ 0,42 (0,25-0,75)	$7,4 \pm 5,14$ 0,25
11. Деформация ядра	$5,9 \pm 3,33$ 0,42 (0,25-1,00)	$7,4 \pm 5,14$ 0,38 (0,25-0,50)
12. Кариолизис	$5,9 \pm 3,33$ 2,00 (0,50-4,50)	$14,8 \pm 6,97$ 0,69 (0,25-1,50)

Доминирующими типами патологий эритроцитов среди рыб Куйбышевского водохранилища, как и в Саратовском водохранилище, являлись произвольная деформация эритроцитов, ацентрическое ядро, вакуолизация цитоплазмы, сморщивание и веретеновидная деформация клетки. Среди массовых видов рыб количество особей с данными типами патологий было велико и варьировало от 21,5 (лещ) до 57,9% (судак) (произвольная деформация эритроцита), от 17,5 (плотва) до 26,3% (судак) (ацентрическое ядро).

Встречаемость рыб с вакуолизацией цитоплазмы эритроцитов варьировала от 13,3 (плотва) до 21,1% (бычок-кругляк), сморщивание эритроцита – от 4,2 (бычок-кругляк) до 12,6% (плотва), а веретеновидная деформация клетки – от 2,9 (бычок-головач) до 6,6% (лещ). Высокими были также показатели средней и максимальной встречаемости данных типов патологий в кровяном русле обследованных особей (таблица 25). Особи с такими патологиями как деформация ядра эритроцита, пикноз, каплевидная деформация клетки, раздвоение ядра эритроцита, кариорексис и вздутие клетки обнаруживались редко или единично.



**Таблица 27.** Встречаемость особей с различными типами патологий эритроцитов в красной крови среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища пятого и третьего порядка

Типы патологий эритроцитов	Параметры встречаемости патологий эритроцитов у разных видов рыб					
	р. Ува		р. Нылга		р. Позимь	
	Плотва	укляя	плотва	укляя	плотва	укляя
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1. Произвольная деформация эритроцита	$\frac{38,9 \pm 11,82}{0,53(0,10-1,75)}$	$\frac{33,3 \pm 9,24}{2,50(0,25-9,50)}$	$\frac{34,6 \pm 9,52}{1,72(0,25-7,75)}$	$\frac{39,3 \pm 9,39}{2,21(0,10-8,50)}$	$\frac{26,7 \pm 4,34}{15,03(0,50-29,50)}$	$\frac{20,0 \pm 3,92}{15,45(4,50-54,50)}$
2. Ацентрическое расположение ядра	$\frac{16,7 \pm 9,04}{0,37(0,25-0,50)}$	$\frac{18,5 \pm 7,62}{5,25(0,25-11,25)}$	$\frac{23,1 \pm 8,43}{1,92(0,25-6,50)}$	$\frac{17,9 \pm 7,37}{1,35(0,25-3,25)}$	$\frac{15,2 \pm 3,52}{5,55(0,75-10,75)}$	$\frac{15,2 \pm 3,52}{6,44(1,25-3,52)}$
3. Вакуолизация цитоплазмы	-	$\frac{14,8 \pm 6,97}{1,19(0,25-2,75)}$	$\frac{15,4 \pm 7,21}{0,69(0,25-1,25)}$	$\frac{7,1 \pm 4,96}{0,75(0,25-1,25)}$	$\frac{15,2 \pm 3,52}{6,53(0,75-16,00)}$	$\frac{16,2 \pm 3,61}{11,31(2,75-3,61)}$
4. Вздутие эритроцита	-	-	-	-	-	$\frac{3,8 \pm 1,88}{15,13(6,75-31,75)}$
5. Сморщивание эритроцита	$\frac{11,1 \pm 7,62}{0,30(0,10-0,50)}$	-	-	$\frac{17,9 \pm 7,37}{0,85(0,50-1,75)}$	$\frac{4,8 \pm 2,09}{8,25(3,25-16,75)}$	$\frac{7,6 \pm 2,60}{44,59(6,50-100,0)}$
6. Шистоцитоз (цитолиз)	$\frac{5,6 \pm 5,56}{0,10}$	$\frac{11,1 \pm 6,16}{0,18(0,10-0,20)}$	$\frac{3,9 \pm 3,85}{0,25}$	$\frac{3,6 \pm 3,57}{0,25}$	$\frac{2,9 \pm 1,63}{5,25(1,10-12,75)}$	$\frac{7,6 \pm 2,60}{12,25(1,25-54,50)}$
8. Каплевидная деформация эритроцита	-	-	-	-	$\frac{2,9 \pm 1,63}{1,08(0,50-1,75)}$	-
10. Серповидная деформация эритроцита	-	-	-	-	-	$\frac{1,0 \pm 0,95}{0,50}$
11. Деформация ядра	$\frac{11,1 \pm 7,62}{0,25}$	-	-	$\frac{7,1 \pm 4,96}{0,38(0,25-0,50)}$	$\frac{2,9 \pm 1,63}{4,50(0,75-11,00)}$	$\frac{7,6 \pm 2,60}{4,81(0,75-11,75)}$
12. Кариолизис	$\frac{5,6 \pm 5,56}{0,25}$	-	$\frac{11,5 \pm 6,39}{0,15(0,10-0,25)}$	$\frac{7,1 \pm 4,96}{0,18(0,10-0,25)}$	$\frac{10,5 \pm 3,00}{2,73(0,50-6,75)}$	$\frac{5,7 \pm 2,28}{5,21(1,25-8,00)}$
13. Пикноз	$\frac{11,1 \pm 7,62}{0,18(0,10-0,25)}$	$\frac{11,1 \pm 6,16}{0,92(0,25-1,75)}$	$\frac{11,5 \pm 6,39}{0,33(0,25-0,50)}$	-	$\frac{1,9 \pm 1,34}{0,63(0,50-0,75)}$	-
14. Раздвоение ядра	-	-	-	-	-	$\frac{1,0 \pm 0,95}{0,75}$
15. Два ядра в одном эритроците	-	-	-	-	$\frac{2,9 \pm 1,63}{1,58(0,50-3,50)}$	$\frac{3,8 \pm 1,88}{1,63(0,50-3,50)}$

**Таблица 27. Окончание.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
16. Отсутствие ядра	-	-	-	-	$\frac{1,0 \pm 0,95}{0,50}$	-
17. Кариорексис	-	-	-	-	-	$\frac{1,0 \pm 0,95}{1,25}$
18. Хроматинолиз	-	-	-	-	$\frac{1,9 \pm 1,34}{0,75}$	-
19. Фрагментоз ядра	-	$\frac{11,1 \pm 6,16}{0,38(0,15-0,75)}$	-	-	$\frac{10,5 \pm 3,00}{3,73(1,00-8,50)}$	$\frac{3,8 \pm 1,88}{4,69(3,50-6,00)}$
21. Фестончатые края клеточной оболочки	-	-	-	-	$\frac{1,0 \pm 0,95}{1,00}$	$\frac{5,7 \pm 2,28}{3,75(0,50-12,00)}$

Так, например, эритроциты с каплевидной деформацией были обнаружены только у трех особей леща, а вздутие эритроцитов зафиксировано лишь у двух особей бычка-головача за весь период исследования. Невысоки и показатели средней и максимальной встречаемости данных типов патологий в кровяном русле обследованных особей (таблица 25).

Доля рыб с цитолизом эритроцитов среди рыб Куйбышевского водохранилища практически не отличается от таковой среди рыб Саратовского водохранилища, она варьирует от 1,5 (бычок-головач, единичная находка) до 5,7% (плотв). Среди судака особей с такой патологией не встречено за весь период исследования. В целом, среди рыб Куйбышевского водохранилища зафиксировано 14 типов патологий эритроцитов, тогда как в Саратовском водохранилище их разнообразие было максимальным – 23. В то же время в притоках Куйбышевского и Саратовского водохранилищ были значительно снижены доля особей с патологиями эритроцитов в кровяном русле и разнообразие типов обнаруженных клеточных аномалий. Так в р. Большой Черемшан у обследованных видов рыб обнаружено всего шесть типов патологий эритроцитов (таблица 26).

Преобладающими типами эритроцитарных патологий у плотвы и уклей р. Б. Черемшан, как и в Куйбышевском водохранилище, являлись произвольная деформация эритроцита и ацентрическое расположение ядра, а доля особей с данными аномалиями была даже несколько выше. Среди плотвы доля рыб с произвольной деформацией клеток достигала 45,1%, а процент особей с ацентрическим расположением ядра – 29,4%. В популяции уклей встречаемость таких рыб была несколько ниже (таблица 26). Но при этом среднее количество патологических эритроцитов в кровяном русле было существенно ниже, чем у рыб Куйбышевского водохранилища. Оно составляло всего 3,1% патологических эритроцитов у плотвы и 2,4% среди уклей (произвольная деформация эритроцита), а также 3,8% клеток с

ацентрическим ядром у плотвы и 1,7% таких клеток у уклей. Значительно ниже, чем в водохранилище, и максимальное содержание патологических эритроцитов в крови отдельных особей (таблица 26).

Остальные четыре типа патологий эритроцитов у рыб из р. Большой Черемшан обнаруживались редко или единично, минимальны были и показатели средней и максимальной встречаемости отдельных типов патологий в крови отдельных особей.

Аналогичная ситуация наблюдалась и в двух притоках Куйбышевского водохранилища пятого порядка, реках Ува и Нылга (таблица 27). Среди плотвы и уклей из этих водоемов обнаружено всего девять типов патологий эритроцитов, причем фрагментоз эритроцита был выявлен всего у двух особей уклей (11,1%) из р. Ува. Преобладающими патологиями эритроцитов являлись произвольная деформация эритроцита и ацентрическое расположение ядра, как и во всех обследованных водоемах. Однако встречаемость рыб с такими аномалиями была существенно ниже, чем среди рыб в водохранилищах, и заметно ниже, чем у рыб из р. Б. Черемшан (таблица 27). Особи с остальными типами патологий эритроцитов в р. Ува и Нылга обнаруживались редко или единично, минимальны были и показатели средней и максимальной встречаемости аномальных клеток в красной крови обследованных особей.

Иначе ситуация выглядит в р. Позимь, которая испытывает значительную антропогенную нагрузку, так как протекает в городской черте г. Ижевска, где и производились основные ихтиологические исследования на данном водоеме. У плотвы и уклей из исследованного притока зафиксировано 18 типов патологий эритроцитов, что в три раза больше чем в р. Б. Черемшан и в два раза больше чем в р. Ува и Нылга, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки. Подобное разнообразие aberrantных эритроцитов обнаруживалось лишь среди рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ, где техногенные загрязнения ярко выражены и имеют хронический характер.

В р. Позимь доминирующими типами эритроцитарных патологий являлись произвольная деформация эритроцита (до 26,7% особей среди плотвы), ацентрическое расположение ядра (15,2% плотвы и уклей) и вакуолизация цитоплазмы эритроцита (до 16,2% уклей).

В целом, процент рыб с аномалиями № 1 и № 2 в р. Позимь сравним с этим же показателем в р. ува и Нылга, однако среднее и максимальное содержание aberrантных эритроцитов в крови отдельных особей из р. Позимь в несколько раз превышает таковые у рыб из р. Нылга и Ува. Так среднее содержание деформированных эритроцитов в крови плотвы и уклей из р. Позимь составляет 15,0% и 15,5%, соответственно, а максимальное содержание таких эритроцитов в крови отдельных особей достигает 29,5% у плотвы и 54,0% у уклей (таблица 27).

В исследуемом водоеме значительна также доля особей с кариолизисом (10,5% среди плотвы и 5,7% среди уклей), деформацией ядра эритроцита (до 7,6% среди уклей), сморщиванием эритроцита (4,8% у плотвы и 7,6% среди уклей) и шистоцитозом (до 7,6% среди уклей). Причем, максимальное содержание шистоцитов в крови некоторых особей уклей достигало 54,5%, а доля сморщенных эритроцитов в крови отдельных рыб составляла 100,0%, что является признаком острого кумулятивного токсикоза.

Доля рыб с остальными типами патологий эритроцитов среди плотвы и уклей р. Позимь невелика, либо такие особи обнаруживались единично, однако среднее и максимальное содержание эритроцитов с обнаруженными патологиями в крови отдельных особей также значительно выше, чем у рыб из экологически благополучных водоемов – р. Б. Черемшан, Нылга и Ува.

Таким образом, выявлена прямая зависимость между разнообразием патологий эритроцитов, обнаруживаемых у рыб, и уровнем антропогенного загрязнения исследуемого водоема или водотока. При этом видовая принадлежность или экологические особенности рыб не являются главными факторами определяющими встречаемость отдельных типов патологий и уровень содержания aberrантных клеток в крови отдельных особей.

Показано, что как среди карповых, окуневых и щуковых, так и среди бычковых рыб, могут обнаруживаться все описанные типы патологий эритроцитов, а частота встречаемости больных особей и содержание абберрантных эритроцитов в крови зависит, прежде всего, от уровня антропогенного воздействия в каждом исследованном водоеме и водотоке.

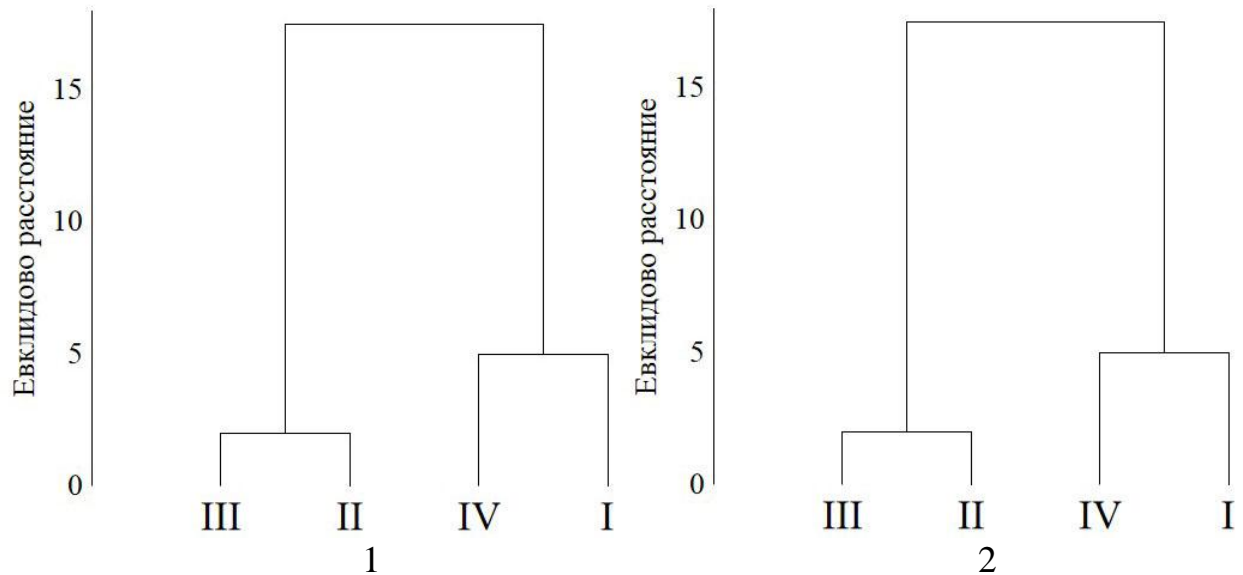
Наиболее распространенные и массовые типы патологий эритроцитов: произвольная деформация эритроцита, ацентрическое ядро, вакуолизация клетки, вздутие эритроцита, сморщивание клетки и шистоцитоз, обнаружены у представителей всех обследованных видов во всех обследованных водоемах. При этом частота встречаемости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

Кластерный анализ встречаемости особей с разным содержанием патологических эритроцитов в красной крови и разнообразия обнаруженных эритроцитарных патологий у рыб в изученных водоемах с различным уровнем загрязнения подтверждает обнаруженные тенденции (рисунок 49). По обоим показателям ситуация аналогична: выделяются 2 пространственные группировки (кластера).

Наибольшим сходством как по разнообразию обнаруженных эритроцитарных патологий, так и по среднему содержанию аномальных эритроцитов в кровяном русле, характеризуются условия в самих Волжских водохранилищах (кластер I) и во втором контроле (кластер IV – р. Позимь), характеризующиеся стабильно высоким уровнем загрязнения и высокой встречаемостью рыб с повышенным содержанием аномальных клеток и разнообразием патологий.

Водоемы со средним уровнем загрязнения (II) и с минимальным уровнем загрязнения или полным его отсутствием (III) объединились в другой кластер, то есть сходство данных водоемов по встречаемости рыб с патологиями эритроцитов с кластером I–IV является незначительным.

Сходство водоемов внутри кластера II–III находится на среднем уровне (в 46%), что подтверждает различие между средне загрязненными притоками (II) и реками, не испытывающими антропогенной нагрузки (III) по обоим показателям.



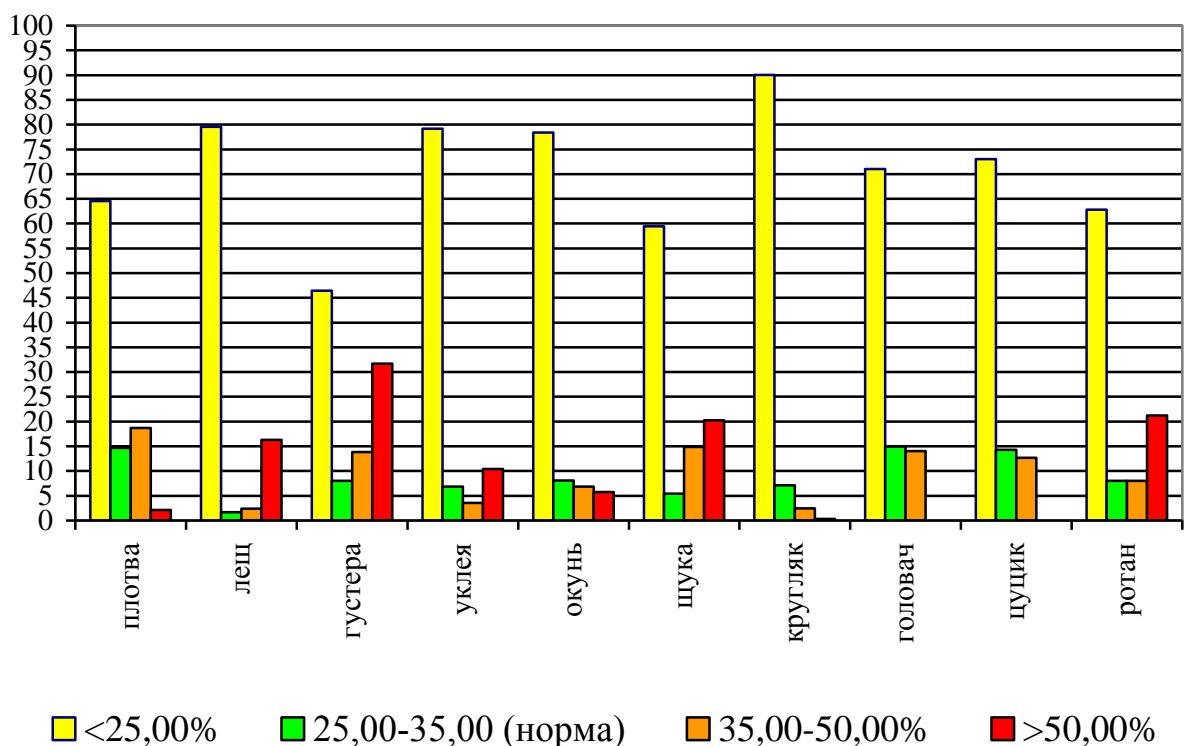
**Рисунок 49.** Дендрограмма сходства водоемов (по Брею-Кёртису) с различным уровнем загрязнения по разнообразию обнаруженных патологий эритроцитов (1) и встречаемости взрослых рыб с различным содержанием аномальных эритроцитов (%) в красной крови (2) (для всех видов рыб) (обозначения как на рисунке 48).

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

Одним из важных гематологических показателей благополучного состояния, как отдельной особи, так и популяции рыб является уровень гемопоза в красной крови. Особь может условно считаться здоровой по уровню гемопоза если в красной крови содержится 25,00-35,00% нормобластов. Доказано также, что при воздействии на рыб различных загрязнителей, в частности ртути, количество нормобластов и полихроматофильных эритроцитов (незрелых форм эритроцитов) падает до 0,2%, а основную массу красных клеток составляют зрелые эритроциты – 99,8% (Крылов, 1974), то есть качество процесса гемопоза снижается до минимума.

Изучение уровня нормобластов в красной крови волжских рыб показало, что в загрязненных участках водоемов основу популяции составляли особи с пониженным содержанием этих клеток в кровяном русле. Это признак угнетенного гемопоэза, что может быть вызвано несоответствием или неполным соответствием оптимальным условиям обитания.

Среди разных видов рыб Саратовского водохранилища доминировали особи с низким содержанием нормабластов в красной крови, их доля в популяциях варьировала от  $46,4 \pm 3,34\%$  среди густеры до  $90,1 \pm 1,78\%$  среди бычка-кругляка. В то же время доля особей здоровых по данному показателю была минимальна среди леща –  $1,7 \pm 0,75\%$ , и не превышала  $14,9 \pm 3,35\%$  среди бычка-головача (рисунок 50).



**Рисунок 50.** Встречаемость особей с различным содержанием нормобластов в красной крови среди рыб Саратовского водохранилища (%).

В популяциях некоторых видов рыб значительна доля особей с повышенным (35,00-50,00%) и патологическим (>50,00%) содержанием нормобластов в красной крови, что также является признаком



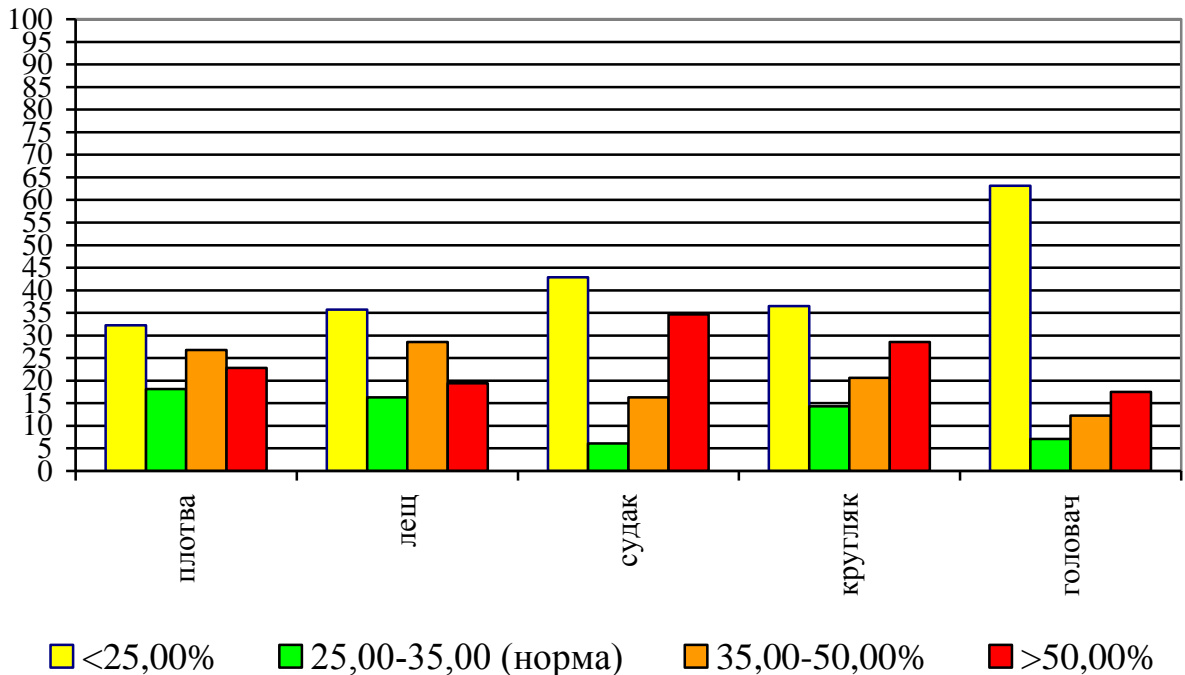
дестабилизации процессов гемопоэза в результате неблагоприятных воздействий на отдельных особей. Подобные нарушения можно расценивать как неконтролируемые проявления адаптационных процессов в организме рыб. Встречаемость особей с повышенным содержанием нормобластов в красной крови отмечена среди всех десяти обследованных видов рыб Саратовского водохранилища, у таких видов как плотва, щука и бычок-головач процент таких особей достигал  $18,7 \pm 1,89$ ,  $14,9 \pm 4,16$  и  $14,0 \pm 3,27\%$  соответственно.

Среди восьми видов рыб: плотва, лещ, укляя, густера, окунь, щука, бычок-кругляк и ротан-головешка зафиксирована встречаемость особей с патологически высоким содержанием нормобластов в кровяном русле. Если среди бычка-кругляка ( $0,4 \pm 0,35\%$ ) и плотвы ( $2,1 \pm 0,70\%$ ) такие особи обнаруживались единично или редко, то у ротана-головешки и густеры процент таких особей в популяциях достигал  $21,2 \pm 2,59\%$  и  $31,7 \pm 3,12\%$  соответственно (рисунок 50).

Аналогичная ситуация наблюдалась на всем протяжении исследований и среди пяти обследованных массовых видов рыб Куйбышевского водохранилища (рисунок 51).

Основу популяций обследованных видов рыб составили особи с пониженным содержанием нормобластов в красной крови ( $<25,00\%$ ), что является признаком угнетенного гемопоэза. У судака и бычка-головача доля таких рыб достигала  $42,9 \pm 7,14$  и  $63,2 \pm 6,45\%$  соответственно. В то же время доля здоровых особей минимальна среди всех пяти видов рыб и варьирует от  $6,1 \pm 3,46$  (судак) до  $18,1 \pm 3,43\%$  (плотва). У всех видов рыб Куйбышевского водохранилища процент особей с повышенным и патологически высоким содержанием нормобластов в крови значительно превышает количество особей с нормальным соотношением зрелых эритроцитов и нормобластов (рисунок 51). При этом у судака, бычка-кругляка и бычка-головача доля рыб с патологическим уровнем нормобластов превышает число рыб с

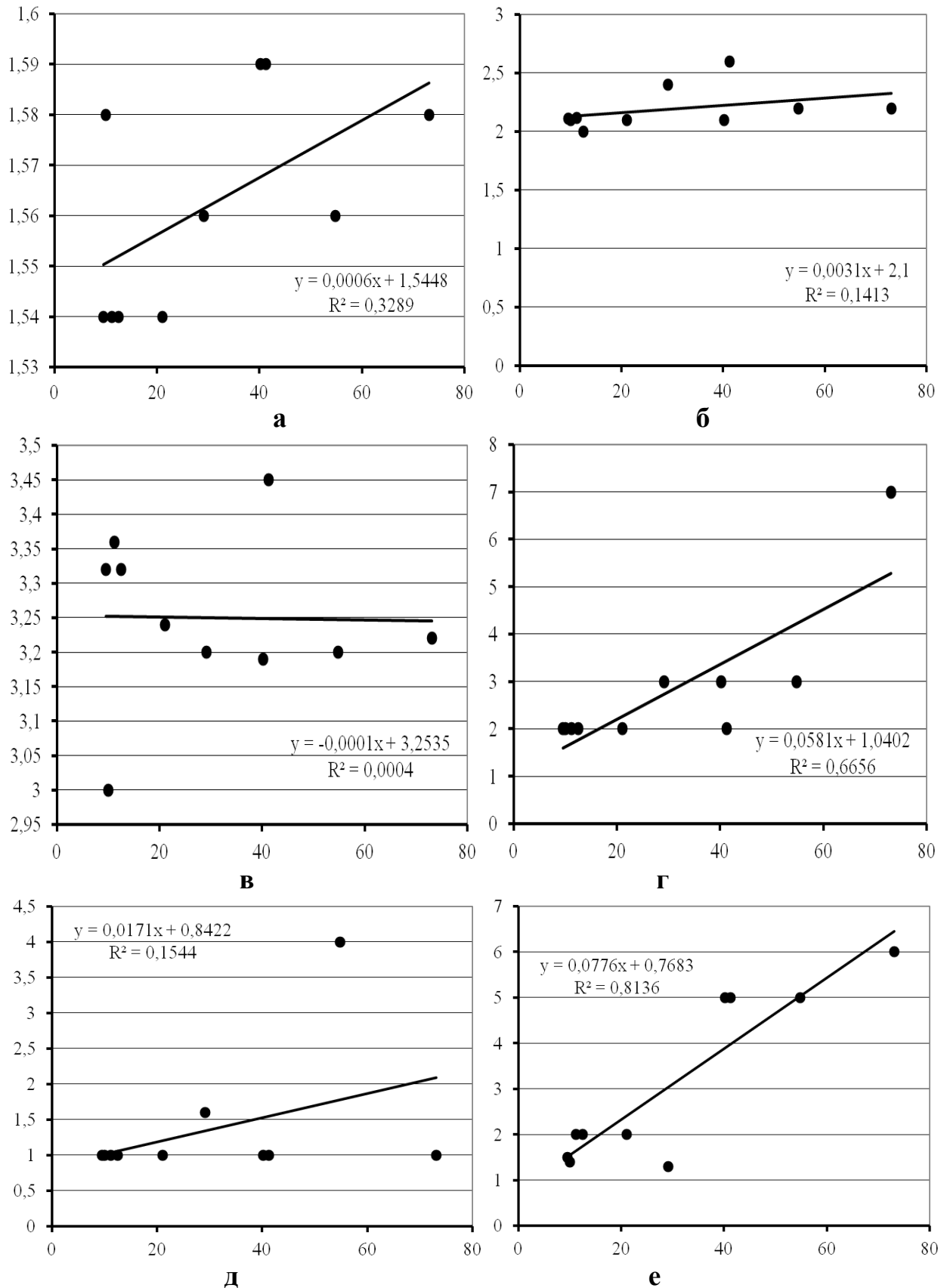
незначительно повышенным содержанием этих клеток в красной крови. У судака процент таких рыб достигал  $34,7 \pm 6,87\%$ .



**Рисунок 51.** Встречаемость особей с различным содержанием нормобластов в красной крови среди рыб Куйбышевского водохранилища (%).

Для подтверждения определяющего воздействия именно неорганических загрязнителей (наиболее распространенным поллютантами в изученных водоемах на момент исследования являлись  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и фенолы) на возникновение нарушений в гемопоэзе нами было проведено исследование в контрольных створах приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища (4 станции) и Саратовского водохранилища (9 станций) (см. таблицу 9, глава 3.2.1).

Корреляционный анализ с применением коэффициента корреляции Пирсона подтвердил достоверную зависимость встречаемости особей с нарушениями гемопоэза в пробах с контрольных станций от содержания в воде Си и фенолов (с порогом значимости – 0,55 по Пирсону) (рисунок 52).



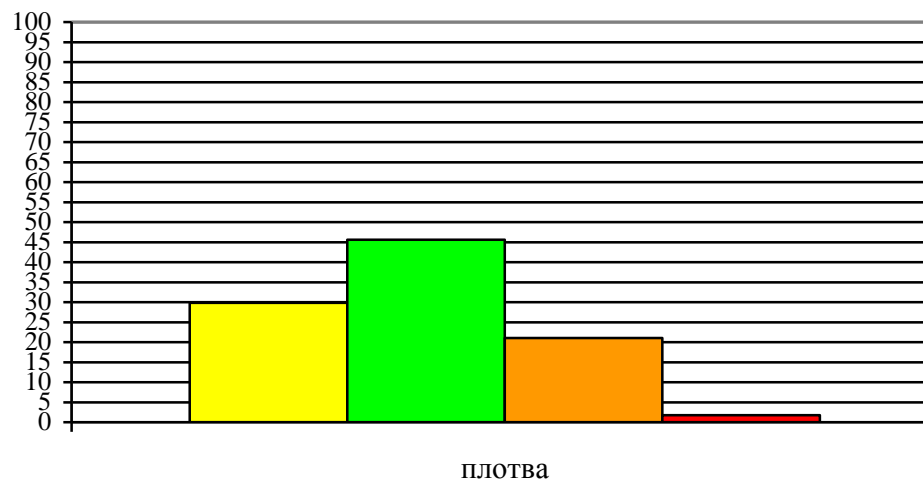
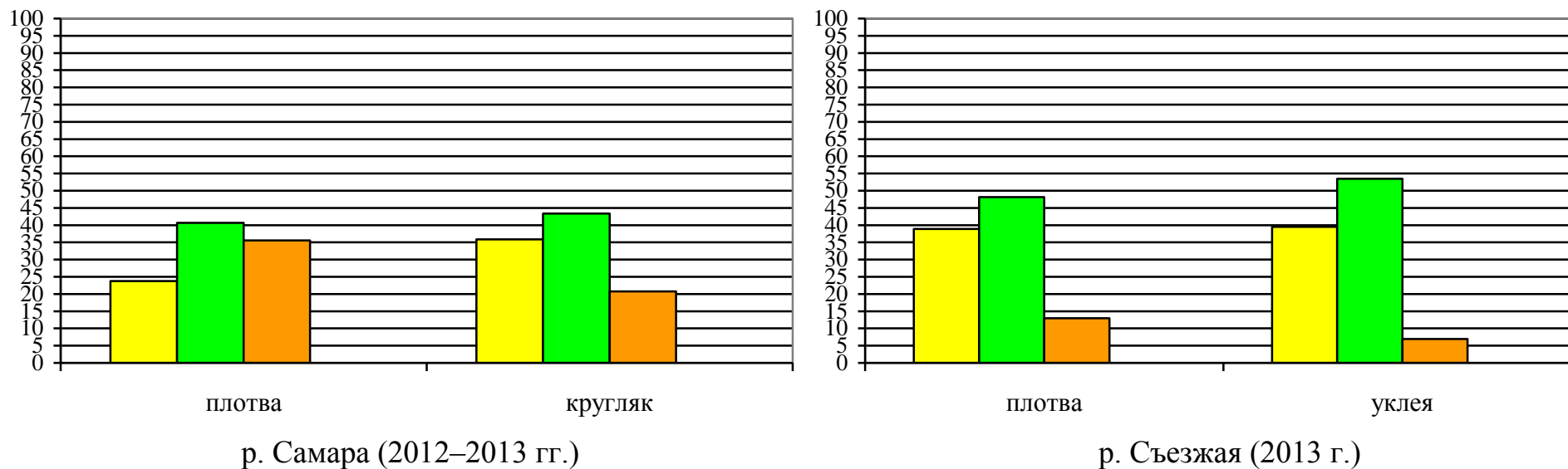
**Рисунок 52.** Корреляция Пирсона между встречаемостью особей с нарушениями гемопоэза и: а – индексом сапробности (и.с.) по зоопланктону; б – и.с. по перифитону; в – и.с. по фитопланктону; г – содержанием в воде (ПДК)  $Cu$ ; д – ПДК  $Mn$ ; е – ПДК фенолов.

Корреляция между встречаемостью рыб с нарушениями соотношения зрелых эритроцитов и нормобластов в красной крови и концентрацией в воде с контрольных станций Mn, а также биогенных загрязнителей, выражающихся тремя индексами сапробности, являлась недостоверной, так как ее значение было ниже порога значимости. То есть загрязненность водоема биогенными веществами и Mn в исследованных станциях не влияет на процент особей с нарушениями гемопоэза, либо влияет незначительно. Однако нельзя исключать потенциального негативного воздействия органических (биогенных) загрязнений, так как они являются частью комплексного загрязнения отдельных участков исследованных водоемов.

В притоках обоих водохранилищ ситуация по встречаемости рыб с отклонениями гемопоэза существенно отличалась от таковой в самих водохранилищах. В рр. Самара и Съезжая не встречено особей с патологически высоким содержанием нормобластов в крови, в то же время в р. Большой Кинель за все время исследования зафиксирована всего одна такая особь –  $1,8 \pm 1,75\%$  (плотва).

Во всех трех изученных притоках Саратовского водохранилища основу популяций среди рыб составили особи с нормальным уровнем нормобластов в красной крови, их процент варьировал от  $40,7 \pm 6,45\%$  среди плотвы из р. Самара до  $53,5 \pm 7,69\%$  среди уклей из р. Съезжая (рисунок 53). Однако доля рыб с угнетенным гемопоэзом, то есть пониженным содержанием нормобластов в крови, также значительна – от  $23,7 \pm 5,59\%$  у плотвы из р. Самара до  $39,5 \pm 7,54\%$  среди уклей из р. Съезжая.

Среди рыб из притоков Саратовского водохранилища обнаруживались также особи с повышенным содержанием нормобластов в крови ( $35,00$ – $50,00\%$ ), что является признаком дестабилизации процессов гемопоэза, однако доля таких рыб была ниже, чем доля здоровых особей. Максимальное число таких рыб обнаружено в устьевом участке р. Самара среди плотвы ( $35,6 \pm 6,29\%$ ) (рисунок 53).



**Рисунок 53.** Встречаемость особей с различным содержанием нормобластов в красной крови среди рыб из притоков Саратовского водохранилища (%). (обозначения как на рисунке 50).

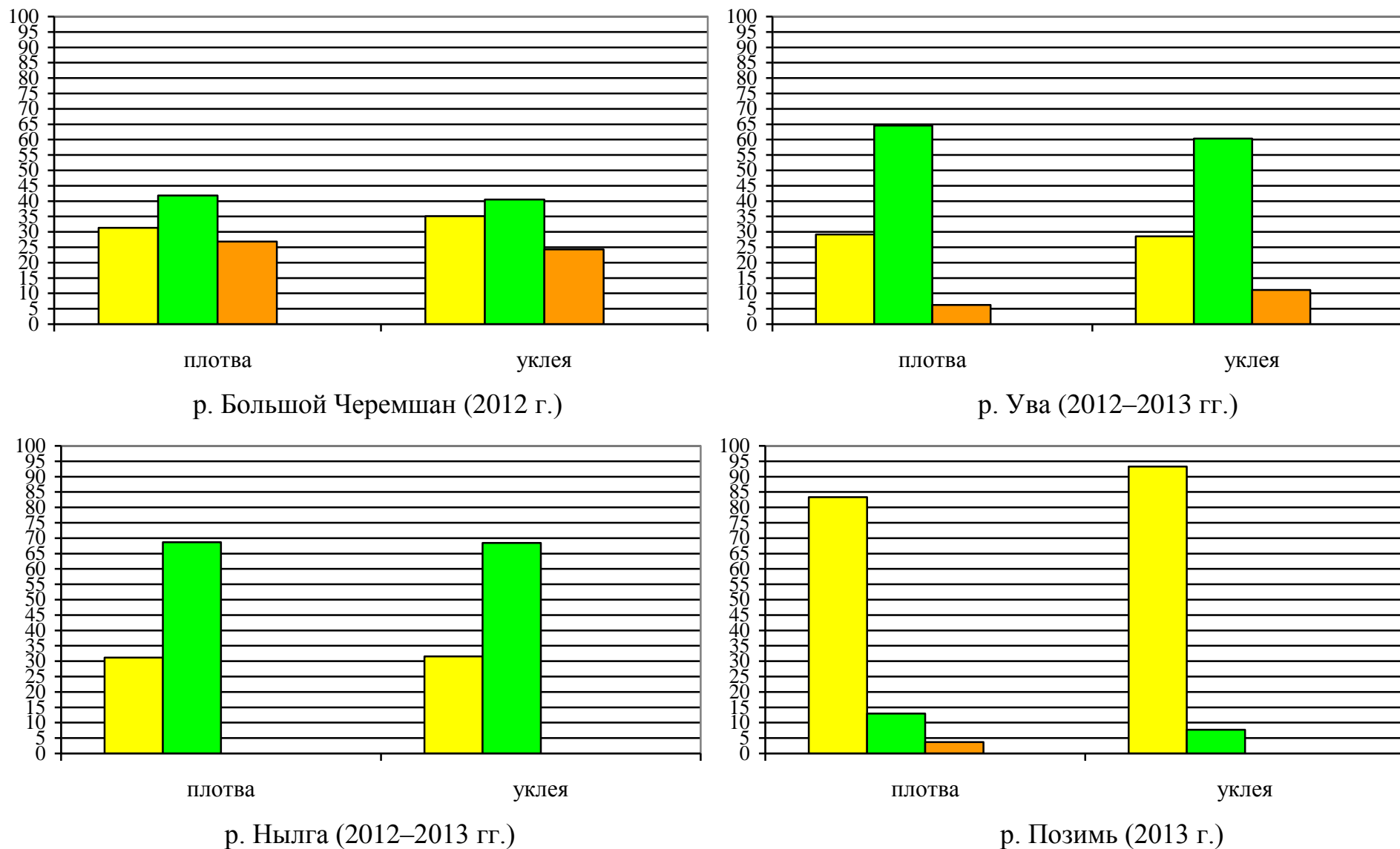
В притоках Куйбышевского водохранилища, не испытывающих сильной антропогенной нагрузки, какими являются рр. Большой Черемшан, Ува и Нылга, доля особей с нормальным уровнем гемопозза заметно выше, чем в притоках Саратовского водохранилища (рисунок 54).

Среди плотвы и уклей не обнаружено особей с патологически высоким содержанием нормобластов в крови, а доля здоровых особей варьировала от  $40,5 \pm 1,18\%$  (среди уклей из р. Большой Черемшан) до  $68,9 \pm 5,98\%$  (среди плотвы из р. Нылга) (рисунок 54). В р. Нылга, как среди плотвы, так и среди уклей не обнаружено также особей с повышенным содержанием нормобластов в крови. Однако доля особей с пониженным содержанием нормобластов и, соответственно, с угнетенным уровнем гемопозза значительна во всех трех притоках Куйбышевского водохранилища. Процент таких рыб варьировал от  $28,6 \pm 5,74$  (уклея из р. Ува) до  $35,1 \pm 7,96\%$  (уклея из р. Б. Черемшан).

Иная ситуация наблюдалась в р. Позимь, также являющейся притоком Куйбышевского водохранилища, но в отличие от других исследованных притоков, испытывающей сильное влияние различных антропогенных факторов (в том числе загрязнений). Доля рыб с нормальным уровнем гемопозза составила всего  $7,7 \pm 3,73\%$  среди уклей и  $12,9 \pm 4,61\%$  у плотвы (рисунок 54).

В то же время, в р. Позимь встречаемость особей с пониженным содержанием нормобластов в красной крови достигло  $83,3 \pm 5,12\%$  среди плотвы и  $93,3 \pm 3,73\%$  среди уклей, то есть рыбы с угнетенным гемопоззом составляли основу популяции. Среди обоих видов рыб из р. Позимь не было встречено особей с патологически высоким содержанием нормобластов в крови, как и среди рыб из других притоков Куйбышевского водохранилища (рисунок 54).

Таким образом, подтверждена прямая зависимость состояния гемопозза отдельных особей от уровня воздействия комплексного антропогенного загрязнения.



**Рисунок 54.** Встречаемость особей с различным содержанием нормобластов в красной крови среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища (%). (обозначения как на рисунке 50).

Чем выше уровень антропогенной нагрузки на определенный водоем, тем выше встречаемость особей среди разных видов рыб с различными нарушениями процесса гемопоэза – пониженное, повышенное и патологически высокое содержание нормобластов в красной крови, и тем ниже процент здоровых рыб в популяциях.

Установлено, что видовая принадлежность рыб не является определяющим фактором для встречаемости особей с различным содержанием нормобластов в кровяном русле. Так, например, доля здоровых рыб практически не отличается как среди плотвы из устья р. Самара, являющейся эврифагом и длинноцикловым видом, так и среди бычка-кругляка, который является короткоцикловым бентофагом. Среди десяти разных видов рыб Саратовского и пяти видов Куйбышевского водохранилища также не выявлено какой-либо показательной зависимости встречаемости рыб с различным состоянием гемопоэза от их видовой принадлежности. Следовательно, изменение такого гематологического показателя как уровень гемопоэза является неспецифической реакцией на экологическое состояние среды обитания особей. Данное утверждение можно считать справедливым и для остальных гематологических показателей.

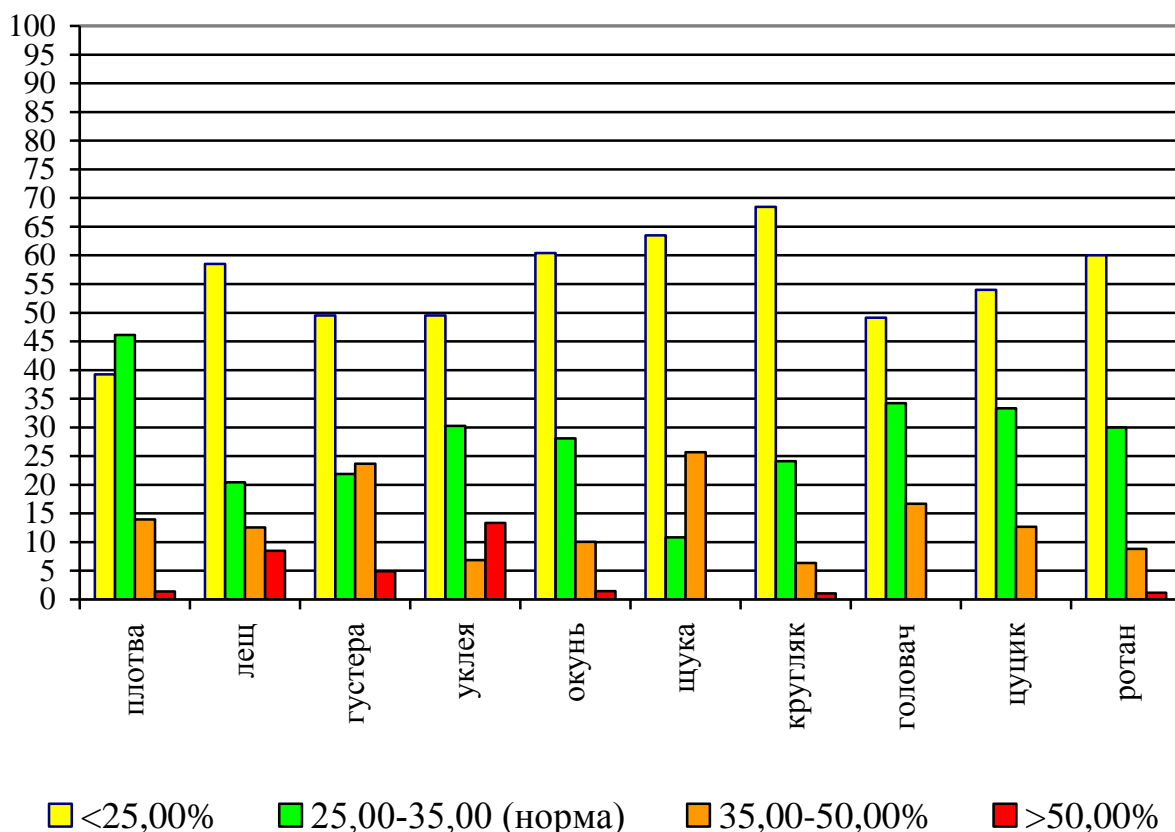
Другим важным показателем состояния особи является соотношение клеток эритроидного и лимфоидного ряда крови. Для взрослых рыб большинства видов нормальным считается содержание в крови белых клеток соответствующее 25,00–35,00%. Установлено, что у рыб под воздействием различных загрязнений снижается функция иммунитета, по сравнению с таковой у рыб из незагрязненных участков обитания (Моисеенко, 2009). Эксперименты на плотве показали, что аккумуляция ртути приводит к уменьшению количества лимфоцитов и возрастанию количества моноцитов и нейтрофилов (Таликина и др., 2003). Аккумуляция кадмия, также вызывает уменьшение количества лимфоцитов, повышение в кровяном русле клеток, обладающих фагоцитарной активностью, и разрушение миелоцитов



(Степанова и др., 1998). В то же время, повышенное содержание в крови клеток лимфоидного ряда является признаком воспалительного процесса, что часто является следствием несоответствия условий обитания норме.

Наши исследования показали, что количество рыб с нормальным уровнем лейкоцитов в кровяном русле различается в водоемах с различным гидрологическим режимом и уровнем антропогенной нагрузки.

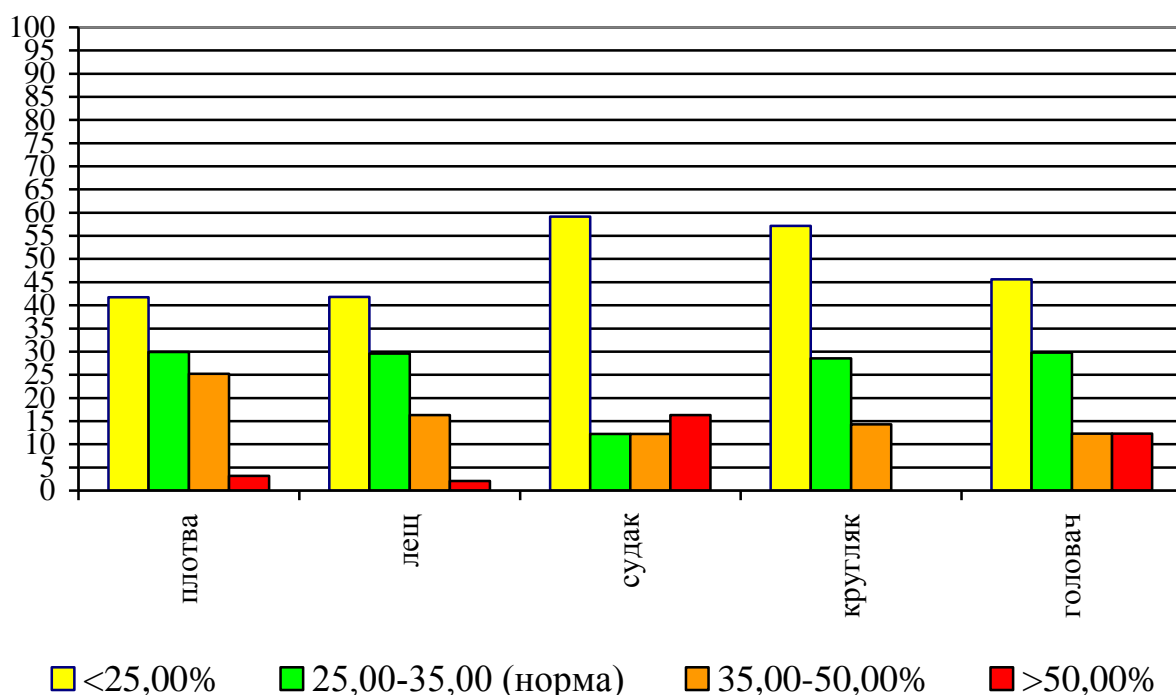
В Саратовском водохранилище лишь у плотвы доля особей с нормальным соотношением лейкоцитов и эритроцитов ( $46,1 \pm 2,43\%$ ) превышает число рыб с пониженным содержанием лейкоцитов в крови ( $39,2 \pm 2,38\%$ ). Среди остальных девяти массовых видов рыб основу популяций составляли особи с признаками лейкопении – пониженного содержания лейкоцитов в крови, их число варьировало от  $49,1 \pm 4,70\%$  у бычка-головача до  $68,4 \pm 2,77\%$  среди бычка-кругляка (рисунок 55).



**Рисунок 55.** Встречаемость особей с различным содержанием лейкоцитов в кровяном русле среди рыб Саратовского водохранилища (%).

Значительна была доля рыб с первичными признаками воспалительного процесса, то есть с повышенным (35,00–50,00%) содержанием лейкоцитов. У густеры и щуки процент таких особей достигал  $23,7 \pm 2,85$  и  $25,7 \pm 5,11\%$  соответственно. Среди плотвы, леща, густеры, уклей, окуня, бычка-кругляка и ротана-головешки Саратовского водохранилища зафиксированы также особи с патологически высоким содержанием лейкоцитов в кровяном русле, что является признаком лейкоцитоза – сильного воспалительного процесса в организме. В популяциях леща и уклей процент таких рыб достигал  $8,5 \pm 1,63$  и  $13,4 \pm 1,94\%$  соответственно (рисунок 55).

Аналогичная тенденция характерна и для рыб Куйбышевского водохранилища. Основу популяций пяти изученных видов рыб в этом водоеме составили особи с пониженным содержанием лейкоцитов в крови, от  $41,7 \pm 4,39\%$  среди плотвы до  $59,2 \pm 7,09\%$  среди судака. В то же время количество рыб с нормальным содержанием лейкоцитов в кровяном русле не превышало  $29,9 \pm 4,08\%$  среди плотвы, и было минимальным среди судака –  $12,2 \pm 4,73\%$  (рисунок 56).



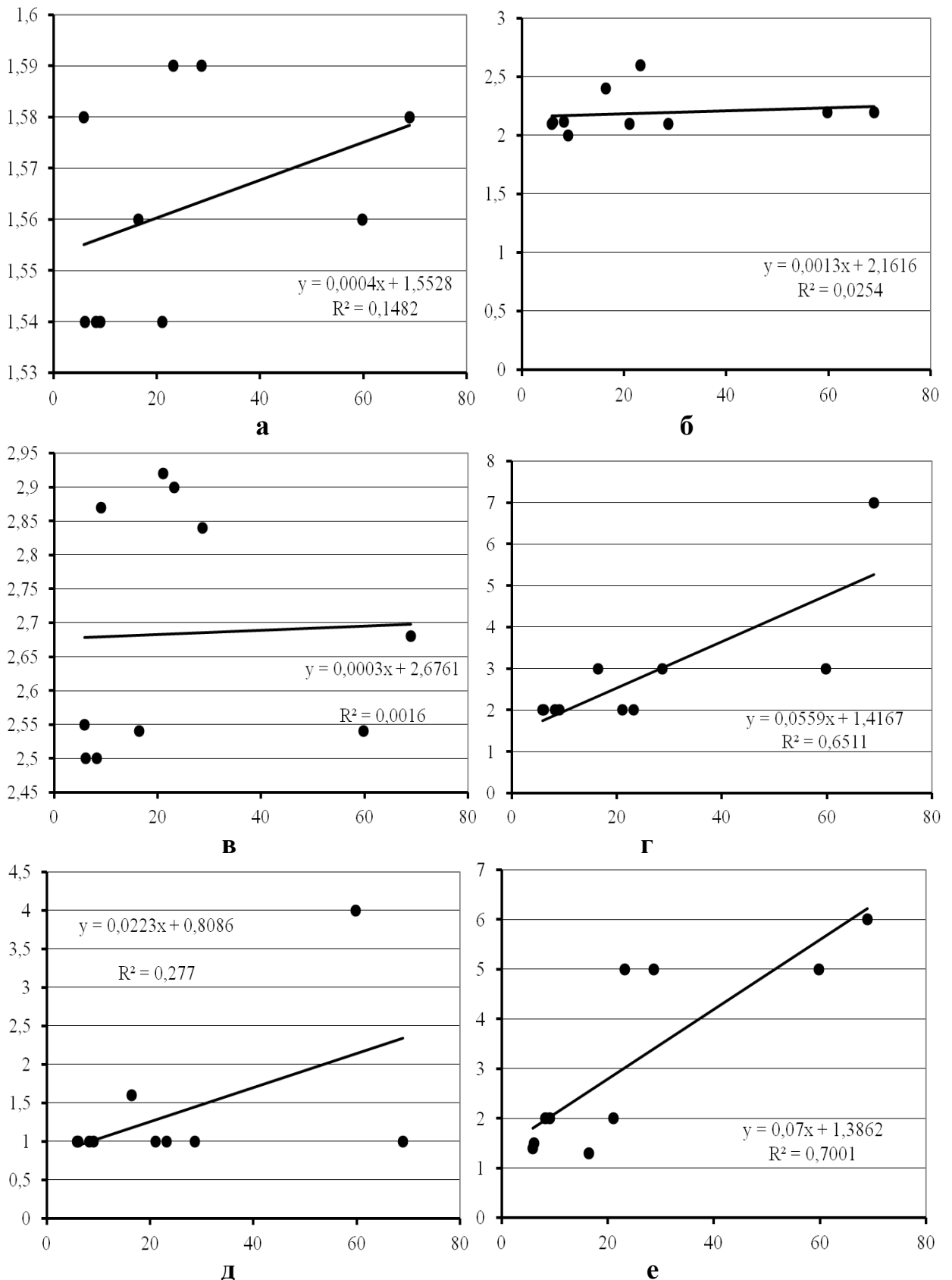
**Рисунок 56.** Встречаемость особей с различным содержанием лейкоцитов в кровяном русле среди рыб Куйбышевского водохранилища(%).

Особь с повышенным содержанием лейкоцитов, или начальными признаками воспалительного процесса, обнаруживались среди всех пяти видов рыб Куйбышевского водохранилища. Патологически высокое содержание лейкоцитов в крови зафиксировано у четырех видов из пяти (кроме бычка-кругляка), при этом среди бычка-головача и судака доля таких особей была значительной и достигала  $12,3 \pm 4,39$  и  $16,3 \pm 5,34\%$  соответственно (рисунок 56).

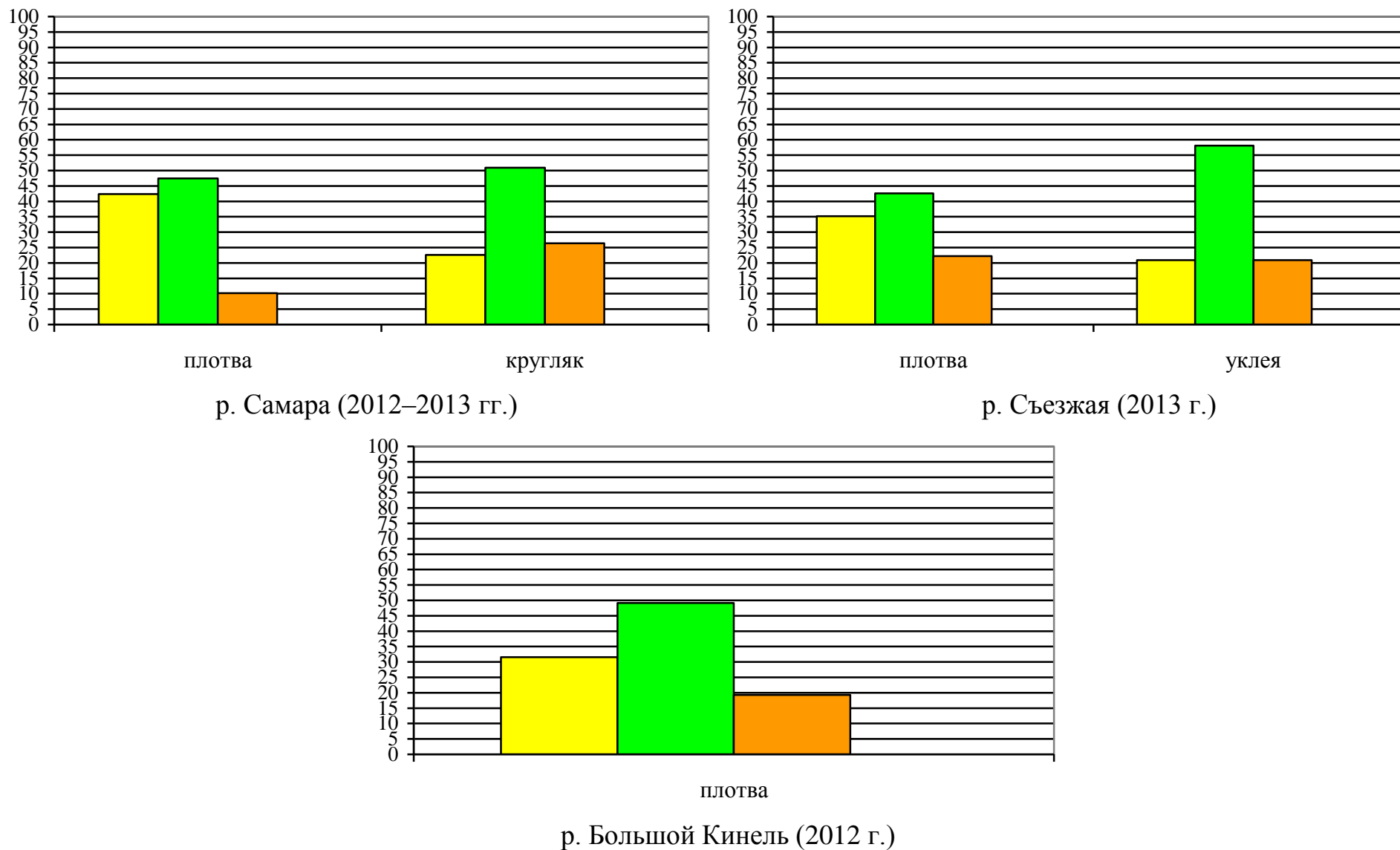
Как и в случае встречаемости рыб с нарушениями гемопоэза, процент особей с нарушенным соотношением лейкоцитов и эритроцитов в кровяном русле в контрольных станциях на Куйбышевском и Саратовском водохранилищах достоверно коррелирует с загрязнением воды Си и фенолами (рисунок 57), а корреляция с содержанием биогенных загрязнителей и Mn ниже порога достоверности.

Во всех притоках Саратовского водохранилища, как и в случае с другими гематологическими показателями – состоянием гемопоэза и наличием патологий эритроцитов, основу популяций изученных видов рыб составили особи с нормальным соотношением лейкоцитов и эритроцитов. Максимальное количество здоровых рыб отмечено среди уклей из р. Съезжая –  $58,1 \pm 7,61\%$ , которая является притоком второго порядка, а минимальное –  $42,6 \pm 6,79\%$  у плотвы из того же водоема (рисунок 58).

Несмотря на то, что рыб с патологически высоким содержанием лейкоцитов, то есть с признаками активного воспалительного процесса, не встречено во всех трех обследованных притоках Саратовского водохранилища, доля особей с пониженным содержанием лейкоцитов, то есть с подавленными функциями иммунитета, была велика среди всех обследованных видов. При минимальном количестве таких особей среди уклей из р. Съезжая ( $20,9 \pm 6,28\%$ ), у плотвы из устьевого участка р. Самара их процент достиг  $42,4 \pm 6,49\%$  (рисунок 58).



**Рисунок 57.** Корреляция Пирсона между встречаемостью особей с нарушенным соотношением лейкоцитов и эритроцитов и: а – индексом сапробности (и.с.) по зоопланктону; б – и.с. по перифитону; в – и.с. по фитопланктону; г – содержанием в воде (ПДК) Cu; д – ПДК Mn; е – ПДК фенолов.



**Рисунок 58.** Встречаемость особей с различным содержанием лейкоцитов в кровяном русле среди рыб из притоков Саратовского водохранилища (%). (обозначения как на рисунке 56).

Значительна также доля особей с повышенным содержанием лейкоцитов в крови, в популяции бычка-кругляка из р. Самара их процент достигал  $26,4 \pm 6,11\%$  (рисунок 56).

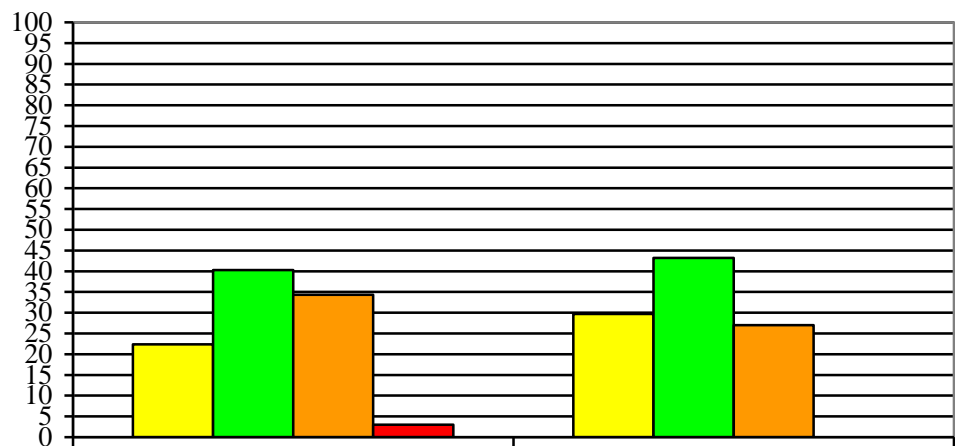
Похожая картина наблюдалась и в притоках Куйбышевского водохранилища: р. Большой Черемшан, Ува и Нылга. При этом в р. Ува и Нылга среди плотвы и уклей за все время исследования не было обнаружено особей как с повышенным ( $35,00\text{--}50,00\%$ ), так и с патологически высоким ( $>50,00\%$ ) содержанием лейкоцитов в кровяном русле.

Среди плотвы и уклей из р. Б. Черемшан доля рыб с повышенным содержанием лейкоцитов составила  $34,3 \pm 5,84$  и  $27,0 \pm 7,40\%$  соответственно, а среди плотвы обнаружено две особи ( $2,9 \pm 2,09\%$ ) с признаками активного воспалительного процесса (рисунок 59).

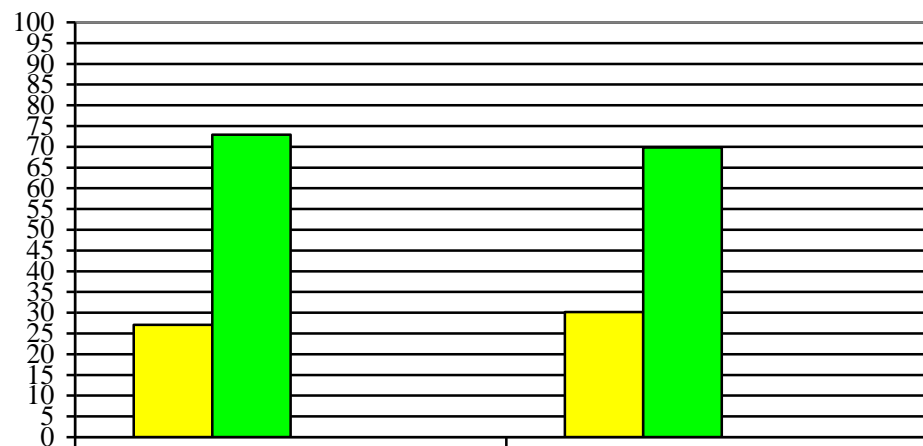
Особи с нормальным соотношением лейкоцитов и эритроцитов являются преобладающими в трех притоках Куйбышевского водохранилища. В притоке Б. Черемшан, испытывающем более выраженную антропогенную нагрузку, среди плотвы и уклей доля здоровых рыб достигала  $40,3 \pm 6,04$  и  $43,2 \pm 8,26\%$  соответственно, тогда как в р. Ува и Нылга, не испытывающих выраженных антропогенных воздействий, процент здоровых особей достигал  $72,9 \pm 6,48$  (плотва из р. Ува) и  $69,8 \pm 5,83\%$  (уклея из р. Ува) (рисунок 59).

Особи с пониженным содержанием лейкоцитов в кровяном русле обнаруживались среди плотвы и уклей из всех четырех притоков Куйбышевского водохранилища. Максимальных значений встречаемость таких рыб достигла в наиболее загрязненной р. Позимь:  $46,3 \pm 6,85\%$  среди плотвы и  $50,0 \pm 7,00\%$  среди уклей. В р. Позимь такие особи с подавленными функциями иммунитета составили основу популяции.

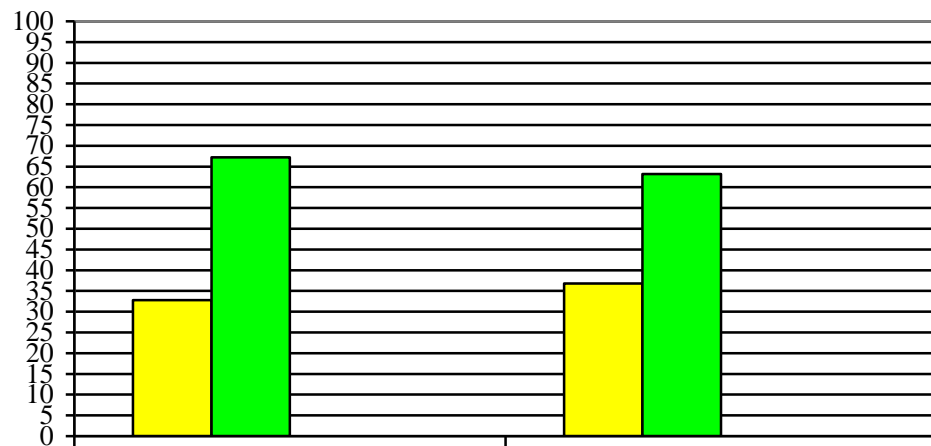
Значительной была также доля рыб с повышенным содержанием лейкоцитов в крови –  $18,5 \pm 5,34\%$  среди плотвы и  $15,4 \pm 5,05\%$  среди уклей (рисунок 59).



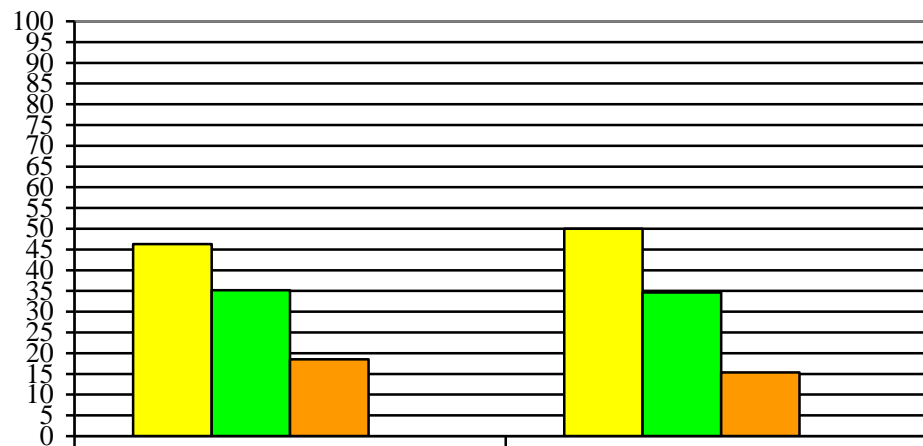
р. Большой Черемшан (2012 г.)



р. Ува (2012–2013 гг.)



р. Нылга (2012–2013 гг.)



р. Позимь (2013 г.)

**Рисунок 59.** Встречаемость особей с различным содержанием лейкоцитов в кровяном русле среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища (%). (обозначения как на рисунке 5.1.3.7).

Таким образом, в наиболее загрязненных водоемах и водотоках (Саратовское, Куйбышевское водохранилища и р. Позимь) большинство особей среди разных видов рыб имеют недостаточное количество лейкоцитов в кровяном русле для нормального функционирования иммунной системы, что является следствием воздействия различных загрязнителей. Многочисленные исследования доказали, что загрязнение окружающей среды влияет на иммунную систему рыб именно таким образом (Микряков и др., 2001; Таликина и др., 2003; Heath, 2002).

У большинства обследованных особей среди изученных видов рыб из разных водоемов и водотоков зафиксировано также нарушение соотношения основных форм лейкоцитов в составе белой крови. Данный показатель – индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ) объективно характеризует отклонения в лейкоцитарной формуле и является надежным критерием состояния отдельной особи (Крылов, 1974; Балобанова, Микряков, 2002). Нарушениями являются как повышение относительного содержания незрелых нейтрофильных клеток в периферической крови, что приводит к увеличению значения ИСЛ, так и снижение доли палочкоядерных нейтрофилов и присутствие гиперсегментированных ядер на фоне повышения доли лимфоцитов и моноцитов, что приводит к понижению значения ИСЛ (Житенева и др., 1997).

Иными словами, ИСЛ является отношением гранулоцитов и агранулоцитов. У разных видов рыб допустимое значение ИСЛ может отличаться; в частности, у большинства рыб семейства *Cyprinidae* нормальное значение ИСЛ соответствует 0,30 (Там же). Сдвиг показателя ИСЛ в ту или иную сторону от условной нормы является признаком заболевания или усиленного негативного пресса со стороны окружающей среды, а высокая частота встречаемости таких особей является признаком неблагополучия популяции в целом, особенно если велика также доля рыб с ненормальным уровнем нормобластов и лейкоцитов в кровяном русле.



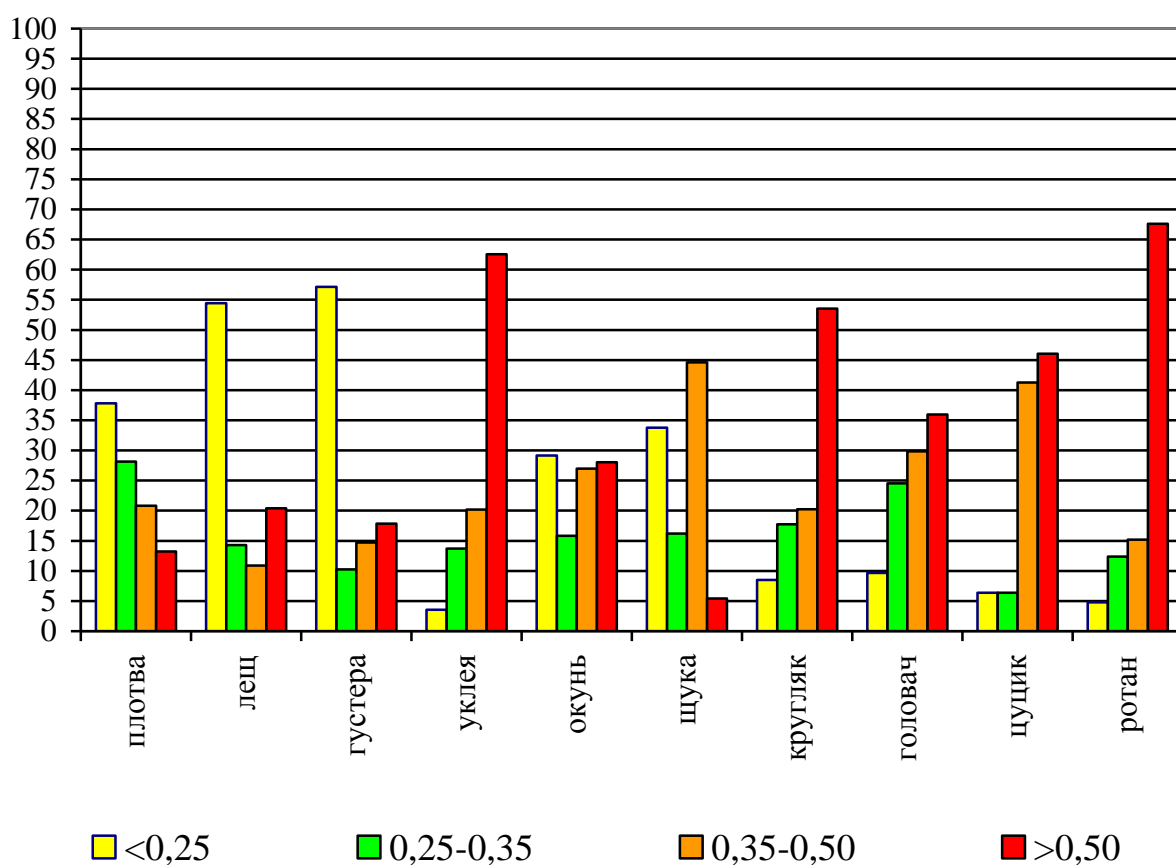
Повышение показателя ИСЛ является симптомом таких заболеваний как нейтрофилез и эозинофилия. Нейтрофилез вызывается повышением доли нейтрофильных гранулоцитов (окрашивающихся нейтрально, в оттенки серого и светло-голубого цветов) среди лейкоцитов. Эозинофилия является следствием повышения количества эозинофильных гранулоцитов, данные клетки окрашиваются стандартными методами в оттенки красного, ярко-розового и малинового цветов. В норме данные виды гранулоцитов должны содержаться в белой крови, но их количество должно быть в два-три раза ниже, чем количество лимфоцитов, палочкоядерных лейкоцитов и моноцитов, которые являются агранулоцитами.

По мнению некоторых авторов (Гольдин, 1975; Котов, 1976; Метелев, 1974; Моисеенко, 2000; Brozio, Litzbarski, 1977) у рыб в большинстве случаев отмечается лейкоцитоз в присутствии каких-либо загрязнителей. При этом наблюдается нейтрофилез, а остальные показатели весьма разнородны: могут быть как лимфоцитоз, так и лимфоцитопения – пониженное содержание лимфоцитов, как моноцитоз, так и моноцитопения, эозинофилия или число эозинофилов остается неизменным.

Нейтрофилы – активные ферментообразователи, им свойственна и фагоцитарная функция. Нейтрофильный лейкоцитоз с увеличением значения ИСЛ (в сторону увеличения доли палочкоядерных нейтрофилов) наблюдается, как правило, при оформленных воспалительных процессах и различных интоксикациях (Моисеенко, 2000; Brozio, Litzbarski, 1977). Таким образом, нейтрофилез можно рассматривать в качестве адаптационного механизма, повышающего защитную функцию крови в условиях воздействия комплекса неблагоприятных факторов (Пескова, 2004). Данный процесс, переходя в длительную или хроническую форму, впоследствии провоцирует различные нарушения во внутренних органах рыб (некрозы, дистрофии и т.д.) (Минеев, 2009, 2011а,б). Повышенное содержание гранулоцитов в кровяном русле, изначально способствующее детоксикации организма за счет фагоцитарной функции этих клеток, при хроническом стрессе приводит

к инфильтрации (проникновению излишков фагоцитарных клеток) в органах и тканях и их последующему очаговому лизису. Охарактеризованные выше процессы, в силу своей неспецифичности, аналогичны практически у всех позвоночных гидробионтов (рыб и амфибий), испытывающих воздействие комплекса загрязняющих веществ.

Наши исследования показали, что в обоих исследованных водохранилищах основу популяций изученных видов рыб составляли особи с различными нарушениями соотношения различных форм лейкоцитов, как и в случае с другими гематологическими показателями.



**Рисунок 60.** Встречаемость особей с различным показателем ИСЛ среди рыб Саратовского водохранилища (%).

В Саратовском водохранилище доля рыб с нормальным значением ИСЛ, то есть с нормальным соотношением разных форм гранулоцитов и агранулоцитов, не превышала  $28,1 \pm 2,19\%$  среди плотвы, тогда как

минимальное число здоровых по данному показателю особей зафиксировано среди бычка-цуцика –  $6,4 \pm 3,09\%$ .

Среди рыб Саратовского водохранилища встречаемость особей с нормальным значением ИСЛ была значительно ниже, чем доля особей с различными отклонениями в данном гематологическом показателе. Однако встречаемость особей с нарушениями в соотношении гранулоцитов и агранулоцитов среди разных видов отличается определенной неоднородностью.

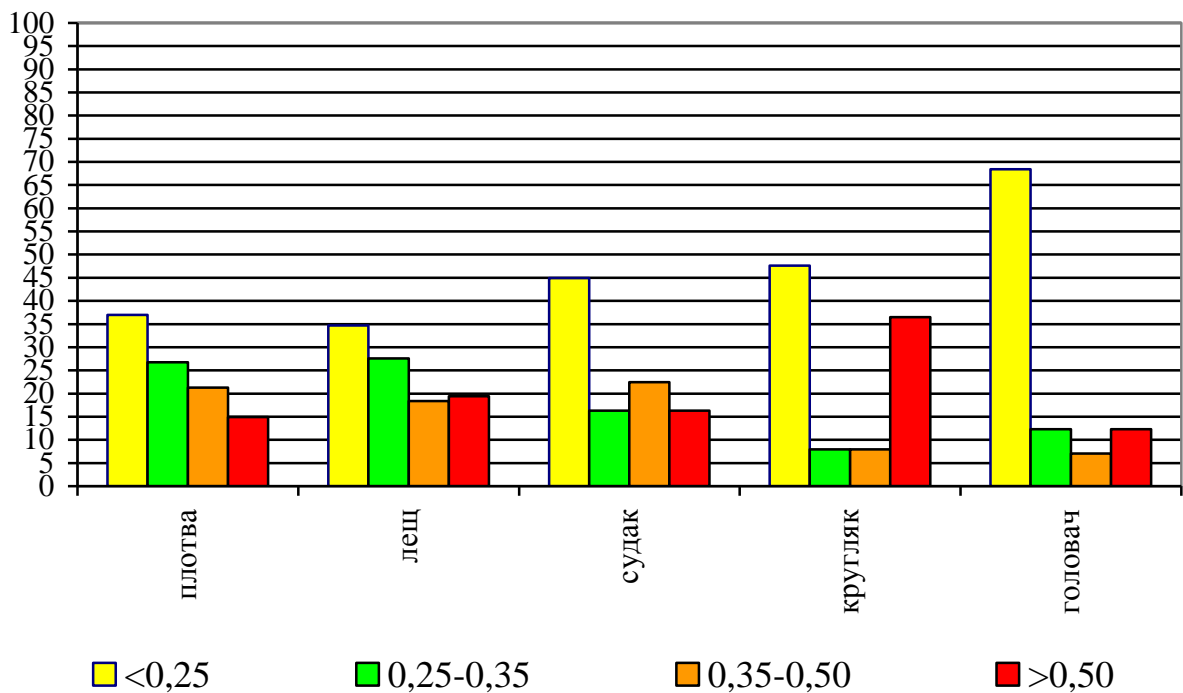
Так, среди плотвы ( $37,8 \pm 2,36\%$ ), леща ( $54,4 \pm 2,91\%$ ), густеры ( $57,1 \pm 3,31\%$ ) и окуня ( $29,1 \pm 2,73\%$ ) Саратовского водохранилища основу популяций составили особи с пониженным значением ИСЛ (рисунок 60), то есть с преобладанием лимфоцитов, моноцитов и палочкоядерных лейкоцитов над эозинофилами и различными формами нейтрофилов. Признаки лимфоцитоза среди данных видов являются признаком высокого загрязнения окружающей среды.

В то же время среди уклей ( $62,5 \pm 2,77\%$ ), бычка-кругляка ( $53,6 \pm 2,98\%$ ), бычка-головача ( $35,9 \pm 4,52\%$ ), бычка-цуцика ( $46,0 \pm 6,33\%$ ) и ротана-головешки ( $67,6 \pm 2,97\%$ ) Саратовского водохранилища основу популяций составляли особи с патологически высоким содержанием гранулоцитов в белой крови, то есть количество нейтрофилов, эозинофилов и базофилов значительно преобладало над числом лимфоцитов, моноцитов и других агранулоцитов. Такая картина белой крови, выражающаяся в незначительных повышениях значений ИСЛ за счет повышения нейтрофильных гранулоцитов, свидетельствует о том, что адаптационные процессы преобразовались у большинства особей в хронические изменения, что впоследствии провоцирует различные некрозы и дистрофии внутренних органов и тканей.

Лишь у щуки Саратовского водохранилища основную массу обследованных особей ( $44,6 \pm 5,82\%$ ) составили рыбы со слабовыраженным повышением ИСЛ, что можно считать первичной адаптационной реакцией на

неблагоприятные воздействия среды, однако, и процент особей с пониженным показателем ИСЛ среди щуки также высок –  $33,8 \pm 5,44\%$  (рисунок 60).

У рыб Куйбышевского водохранилища подобной разнородности показателей ИСЛ не было зафиксировано. Основу популяции среди всех пяти видов составили особи с пониженными значениями ИСЛ, от  $41,8 \pm 5,01\%$  среди леща до  $68,4 \pm 6,21\%$  среди бычка-головача. В то же время доля здоровых особей, с нормальным соотношением гранулоцитов и агранулоцитов в белой крови, не превышала  $29,6 \pm 4,63\%$  среди леща (рисунок 61).



**Рисунок 61.** Встречаемость особей с различным показателем ИСЛ среди рыб Куйбышевского водохранилища(%).

Среди всех пяти массовых видов рыб Куйбышевского водохранилища встречались особи, как с повышенным, так и с патологически высоким значением ИСЛ, что является признаком как начального адаптационного процесса к неблагоприятным факторам среды, так и токсикоза перешедшего в хроническую форму в результате длительного постоянного воздействия

этих факторов. Среди бычка-кругляка, например, процент рыб с патологически высокими значениями ИСЛ достигал максимального значения  $36,5 \pm 6,11\%$ , что ниже, чем у рыб Саратовского водохранилища.

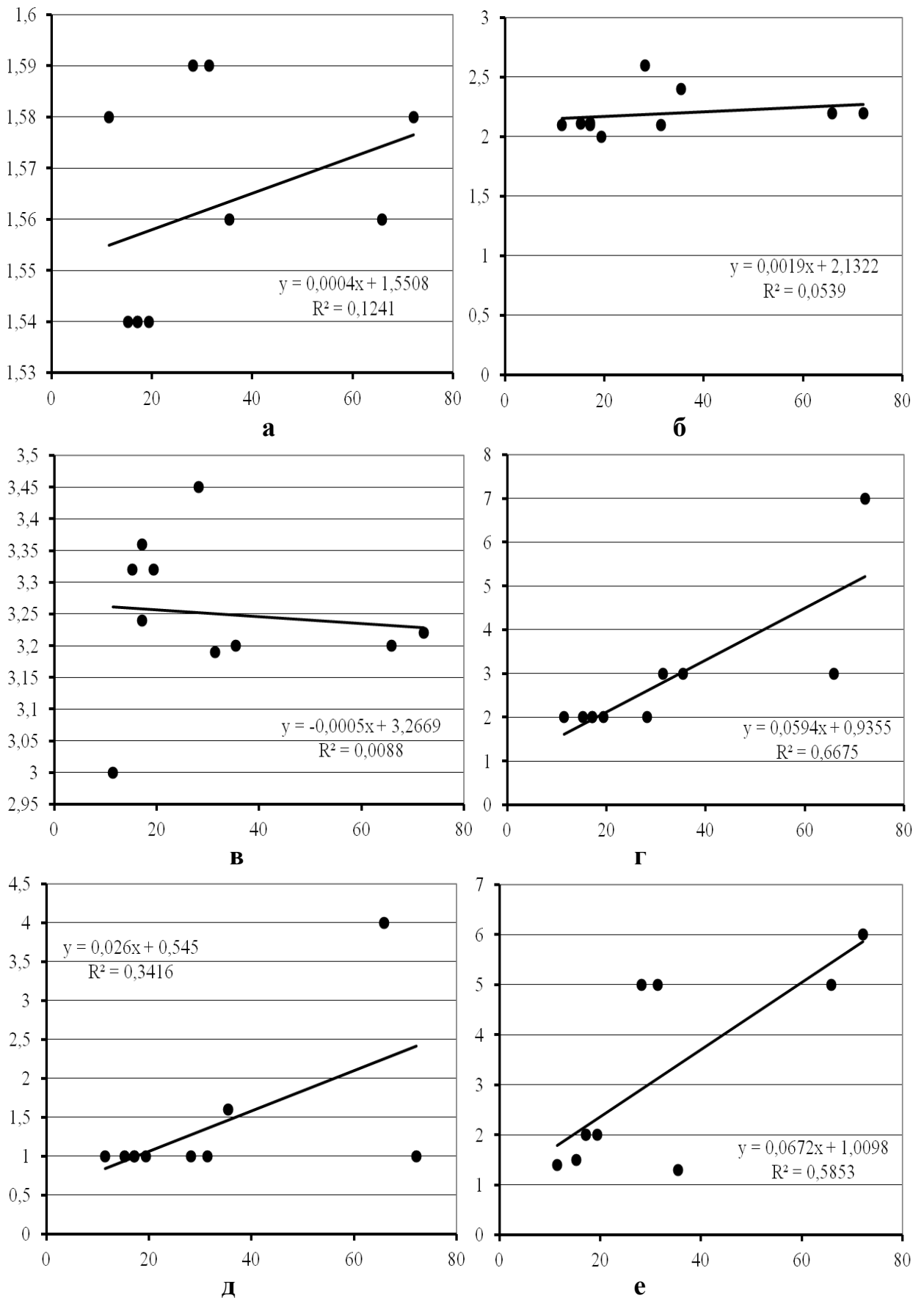
Однако среди рыб Куйбышевского водохранилища доля рыб с нормальными значениями ИСЛ также невысока, как и в Саратовском водохранилище, их встречаемость варьировала от  $7,9 \pm 3,43$  (бычок-кругляк) до  $27,6 \pm 4,54\%$  (лещ).

Как и в случае встречаемости рыб с нарушениями в других гематологических показателях, процент особей с нарушенным соотношением гранулоцитов и агранулоцитов в белой крови в контрольных станциях на Куйбышевском и Саратовском водохранилищах достоверно коррелирует с загрязнением воды Си и фенолами (рисунок 62), а корреляция с содержанием биогенных загрязнителей и Mn ниже порога достоверности.

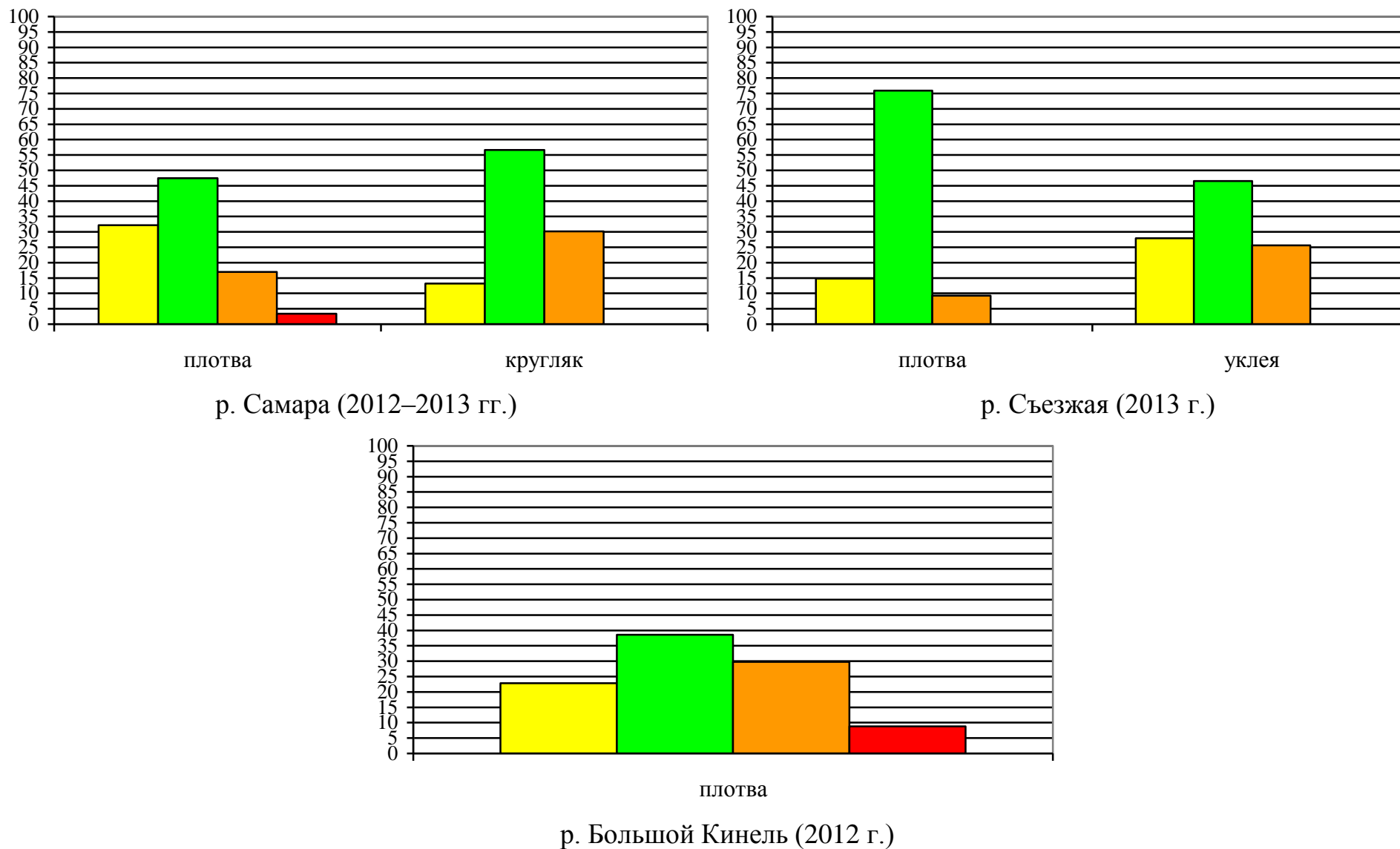
В притоках Саратовского и Куйбышевского водохранилищ, как и в случае с другими, проанализированными выше, гематологическими показателями, соотношение особей с нормальным и измененным показателем ИСЛ отличается от такового в самих водохранилищах (рисунки 63 и 64).

В трех обследованных притоках Саратовского водохранилища среди изученных видов рыб преобладают особи с нормальным показателем ИСЛ, их доля в популяциях варьирует от  $38,6 \pm 6,51\%$  среди плотвы из р. Б. Кинель до  $75,9 \pm 5,87\%$  у плотвы из р. Съезжая (рисунок 63). Доминирующими являются здоровые особи и из трех притоков Куйбышевского водохранилища: в р. Б. Черемшан  $48,7 \pm 8,33$  (уклея) и  $43,3 \pm 6,09\%$  (плотва), в р. Ува  $65,1 \pm 6,05$  (уклея) и  $77,1 \pm 6,13\%$  (плотва), в р. Нылга  $77,1 \pm 5,43$  (плотва) и  $77,2 \pm 5,61\%$  (уклея) (рисунок 64).

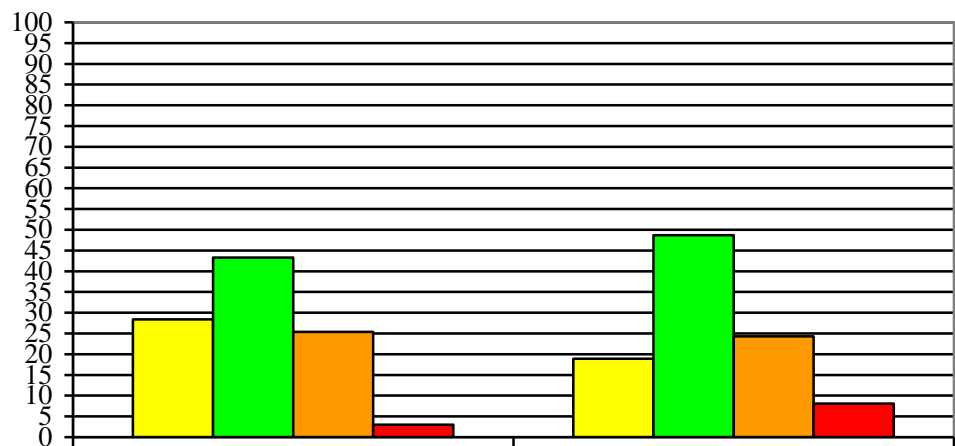
Однако в популяциях рыб из всех изученных притоков Саратовского и Куйбышевского водохранилищ встречаются и особи как с пониженным показателем ИСЛ, так и с повышенным (рисунки 63 и 64).



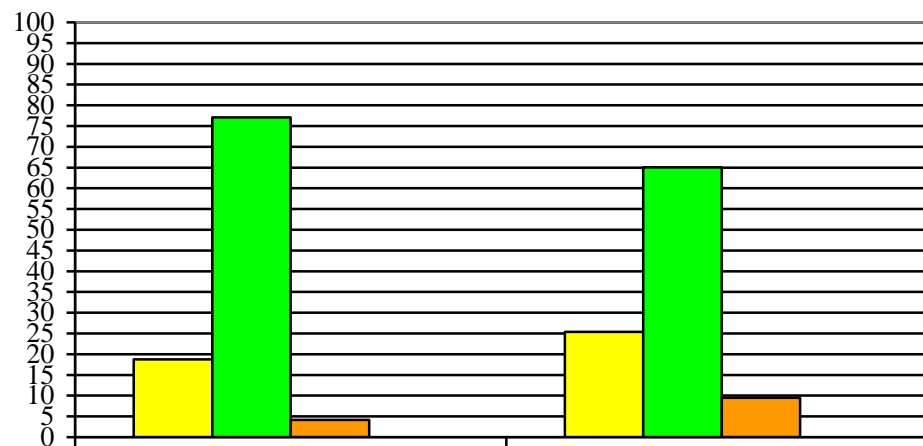
**Рисунок 62.** Корреляция Пирсона между встречаемостью особей с нарушениями лейкоцитарной формулы и: а – индексом сапробности (и.с.) по зоопланктону; б – и.с. по перифитону; в – и.с. по фитопланктону; г – содержанием в воде (ПДК) Cu; д – ПДК Mn; е – ПДК фенолов.



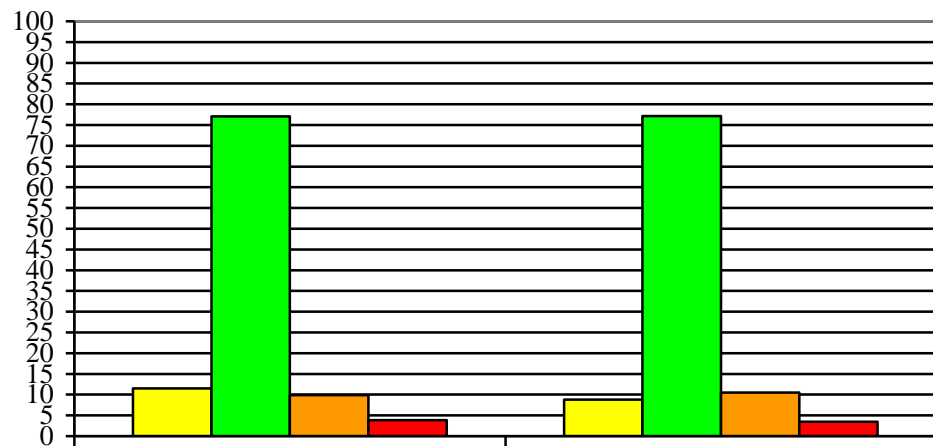
**Рисунок 63.** Встречаемость особей с различным показателем ИСЛ среди рыб из притоков Саратовского водохранилища (%) (обозначения как на рисунке 61).



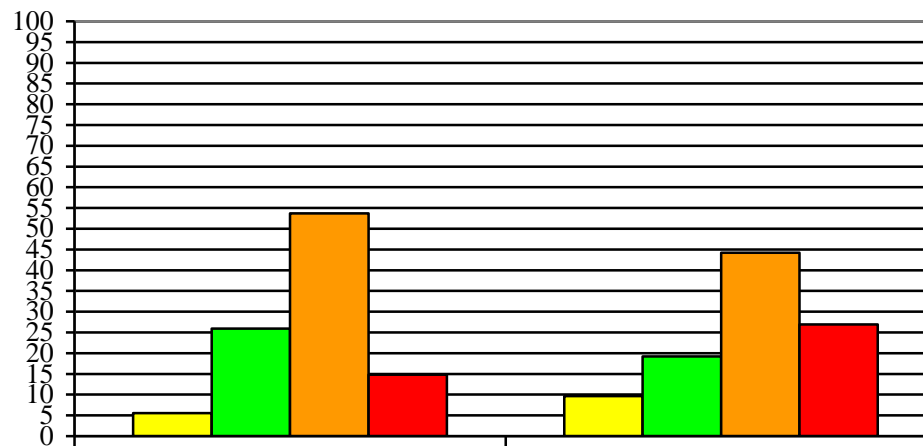
р. Большой Черемшан (2012 г.)



р. Ува (2012–2013 гг.)



р. Нылга (2012–2013 гг.)



р. Позимь (2013 г.)

**Рисунок 64.** Встречаемость особей с различным показателем ИБЛ среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища (%) (обозначения как на рисунке 61).



В рр. Самара и Большой Кинель (притоки Саратовского водохранилища) обнаружены также особи плотвы с патологически высоким значением ИСЛ, но доля таких рыб невелика –  $8,8 \pm 3,78\%$  (р. Б. Кинель) и  $3,4 \pm 2,38\%$  (р. Самара) (рисунок 63).

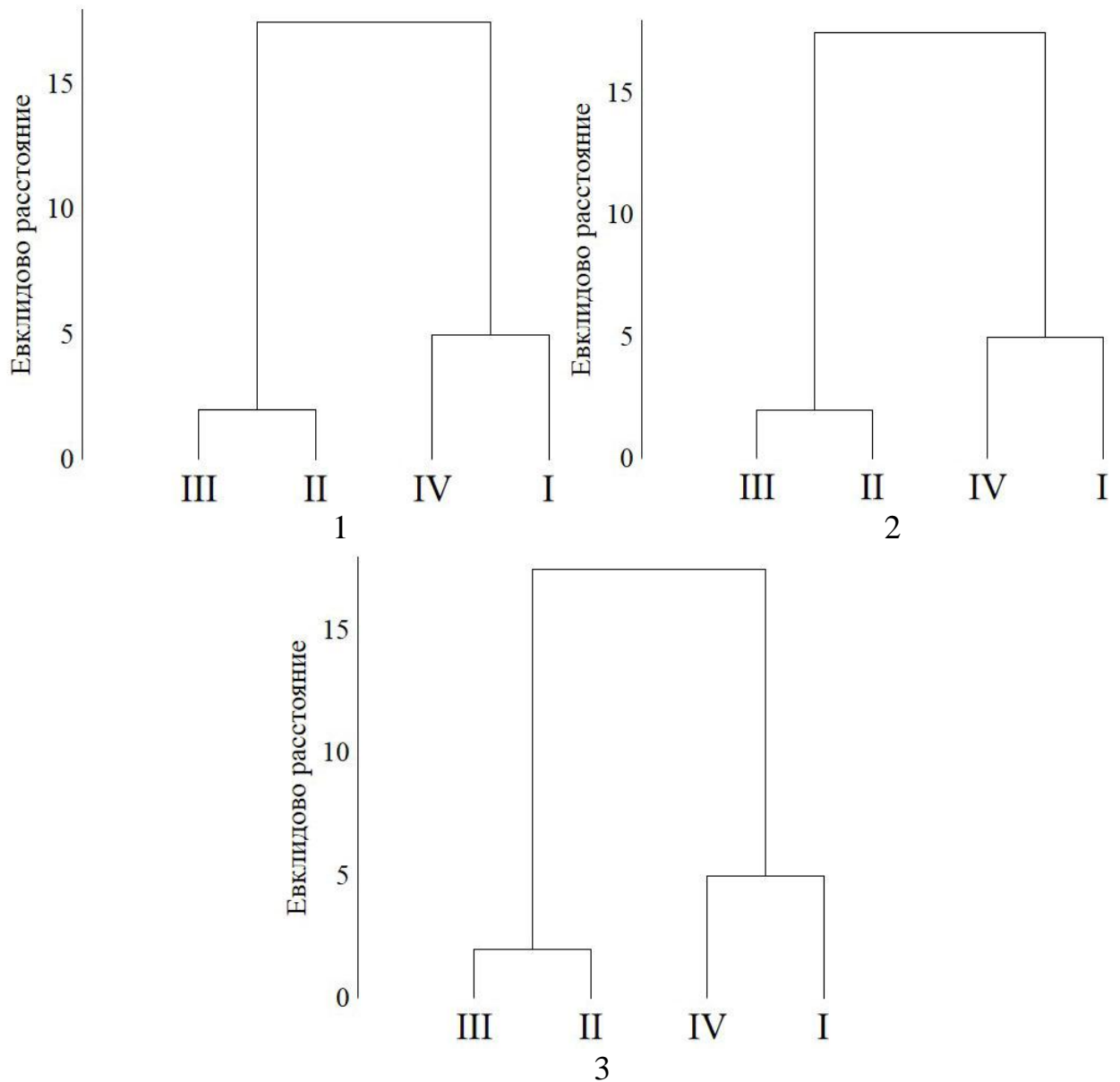
В трех притоках Куйбышевского водохранилища особи с патологически высоким значением ИСЛ ( $>0,50$ ) обнаружены как среди плотвы, так и среди уклей. Доля таких особей минимальна в реках, не испытывающих существенной антропогенной нагрузки: в р. Б. Черемшан  $2,9 \pm 2,09$  (плотва) и  $8,1 \pm 4,55\%$  (уклея), в р. Нылга  $1,6 \pm 1,64$  (плотва) и  $3,5 \pm 2,46\%$  (уклея). В то же время у рыб из р. Позимь, где уровень загрязнения воды бытовыми и промышленными стоками г. Ижевска очень высок, встречаемость особей с патологически высоким содержанием гранулоцитов в белой крови достаточно высока –  $14,8 \pm 4,88$  (плотва) и  $26,9 \pm 6,21\%$  (уклея). (рисунок 64). В реке Ува рыб с такими значениями ИСЛ не зафиксировано за весь период исследования.

Вследствие высокой антропогенной нагрузки на экосистему р. Позимь среди плотвы и уклей преобладают особи с повышенным содержанием гранулоцитов в белой крови (значения ИСЛ от 0,35 до 0,50) –  $44,2 \pm 6,95$  (уклея) и  $53,7 \pm 6,85\%$  (плотва). Тогда как встречаемость рыб с нормальным значением ИСЛ в данном водоеме не превышала  $25,9 \pm 6,02\%$  среди плотвы (рисунок 64).

Согласно результатам кластерного анализа встречаемости особей с нарушенным соотношением зрелых эритроцитов и нормобластов в красной крови, нарушением соотношения эритроцитов и лейкоцитов, нарушениями лейкоцитарной формулы у рыб в изученных водоемах с различным уровнем загрязнения также выделяются два кластера, которые аналогичны по всем изученным показателям (рисунок 65).

Наибольшим сходством по встречаемости рыб с нарушениями всех трех гематологических показателей характеризуются условия в самих Волжских водохранилищах (кластер I) и во втором контроле (кластер IV – р.

Позимь), характеризующиеся стабильно высоким уровнем загрязнения и высокой встречаемостью рыб с повышенным содержанием аномальных клеток и разнообразием патологий.



**Рисунок 65.** Дендрограмма сходства (по Брею-Кёртису) водоемов с различным уровнем загрязнения по встречаемости особей (%) с нарушенным соотношением зрелых эритроцитов и нормобластов в красной крови (1), нарушением соотношения эритроцитов и лейкоцитов (2), нарушениями лейкоцитарной формулы (3) (для всех видов рыб) (обозначения как на рисунке 48).

Водоемы со средним уровнем загрязнения (II) и с минимальным уровнем загрязнения или полным его отсутствием (III) объединились в

другой кластер, то есть сходство данных водоемов по встречаемости рыб с патологиями эритроцитов с кластером I–IV является незначительным. Сходство водоемов внутри кластера II–III находится на среднем уровне (в 46%), что подтверждает различие между средне загрязненными притоками (II) и реками, не испытывающими антропогенной нагрузки (III) по всем трем гематологическим показателям.

Таким образом, установлено, что встречаемость особей с различными отклонениями в изученных гематологических параметрах в популяциях водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги зависит от видовой принадлежности и экологических предпочтений рыб незначительно, но находится в устойчивой прямой зависимости от степени воздействия комплексного антропогенного загрязнения. Данное утверждение справедливо и для динамики встречаемости особей с различными патологиями клеток крови: чем выше уровень антропогенного загрязнения водоема, тем выше содержание аберрантных эритроцитов в красной крови отдельных особей и тем более выражено разнообразие типов клеточных патологий. Встречаемость одних и тех же типов патологий эритроцитов и отклонений в гематологических параметрах у представителей разных видов рыб (как у карповых и окуневых, так и у бычковых) в сходных экологических условиях указывает на неспецифический характер данных нарушений.

Полученные результаты позволяют констатировать, что наиболее загрязненными, а, следовательно, менее пригодными для успешной жизнедеятельности рыб, являются следующие изученные волжские водоемы – Куйбышевское, Саратовское водохранилища, а также р. Позимь, подвергающаяся сильным хроническим антропогенным загрязнениям 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, среди рыб из притоков встречаемость рыб с различными нарушениями гематологических параметров значительно

ниже, чем в водохранилищах, а основу популяций составляют особи без тех или иных гематологических отклонений.

Несмотря на то, что при возможной нормализации условий обитания (снижении уровня загрязнений) некоторые гематологические параметры могут возвращаться к состоянию нормы в силу повышенной реактивности крови, то есть могут считаться обратимыми, в большинстве случаев этого не происходит, так как уровень загрязнения волжских водохранилищ (в отличие от большинства обследованных их притоков) имеет хронический характер. При этом возникающие у рыб гематопатологии приобретают хроническую форму и провоцируют последующее развитие тканевых патологий, которые, в свою очередь, являются необратимыми.

## **5.2. Гистопатологии внутренних органов у половозрелых особей**

Если состояние гематологических показателей и наличие гематопатологий отражают состояние здоровья особи непосредственно в момент вылова и отбора крови, то наличие гистологических патологий в тканях внутренних органов свидетельствуют о хроническом характере негативных воздействий на отдельную особь и популяцию в целом. Гистопатологические изменения являются интегральным результатом разнообразных биохимических и физиологических изменений в организме (Hinton, Lauren, 1990; Wrona, Cash. 1996; Heath, 2002; Lawrens et al., 2003).

Гистологический метод не всегда позволяют достаточно точно диагностировать заболевание. Однако он дает ответ, насколько глубоко на тканевом и клеточном уровне зашел патологический процесс и насколько широко поражено все исследованное стадо рыб. При этом органы внешне здоровых рыб могут на тканевом уровне оказаться на различных стадиях патологии, что позволяет определить степень поражения всего стада (Чернышева, 2002). Морфопатологические исследования волжских рыб показали, что состояние органов и тканей связано с состоянием среды

обитания, характером распределения загрязняющих веществ по акватории водоема и особенностями экологии изученных видов (Васильев и др., 2004).

Сдвиги в физиологических процессах, направленные изначально на повышение резистентности организма в условиях стресса, при хроническом воздействии приобретают негативный характер и провоцируют патологические изменения организма уже на клеточном и тканевом уровне. Многочисленными исследованиями доказано, что подобные изменения являются неспецифическими, так как аналогичны для большинства позвоночных животных.

На начальных этапах воздействия сублетальных концентраций токсикантов внутренние органы рыб также проявляют неспецифическую реакцию. Так при влиянии на молодь карпа сублетальных концентраций Cd и Cu у особей наблюдается увеличение индекса печени, что соответствует неспецифической реакции организма на стресс (Гагарин и др., 2003). Как правило, при кратковременных токсических воздействиях подобные изменения в органах носят модификационно-адаптивный характер, а после окончания стрессирующего воздействия нарушения в органах обратимы. На примере каспийских осетровых было показано, что адаптивная модификация в организме рыб под влиянием токсических веществ проявляется в двух формах (Земков, Журавлева, 2004а). Первая характеризуется отсутствием патологических нарушений в печени рыб, и сохраняется под контролем естественного отбора. Вторая форма модификации проявляется деструктивными нарушениями в печени, как “болезни адаптации”, которые по ряду признаков обратимы (Там же). Однако, при хроническом токсикозе (даже при сублетальных концентрациях поллютантов) структурные нарушения органов и тканей приобретают необратимый характер.

У каспийских осетровых, успешно используемых как объект мониторинга, вследствие кумулятивного токсикоза установлены патоморфологические изменения в печени, скелетных мышцах и гонадах, все изменения в органах произошли на фоне снижения уровня аэробного и

анаэробного видов обмена, накопления липидов, фосфолипидов, снижения содержания некоторых ферментов (Журавлева, 2003). Данные нарушения рассматриваются автором как необратимые неспецифические адаптивные модификации организма на современные условия внешней среды, приводящие к перестройке в популяциях осетровых.

Ранее установлено, что на фоне сочетания большого количества загрязняющих веществ в Волге, морфофункциональные изменения в отдельно взятых органах рыб (в частности – стерляди) носят неспецифический характер, сопровождаясь в некоторых случаях (на уровне половых клеток) тератогенным и канцерогенным эффектами (Лепилина, Романов, 2005). Широкий спектр морфофункциональных отклонений в жабрах, почках и гонадах половозрелых особей стерляди проявлялся как на уровне защитно-приспособительных адаптивных реакций, так и на уровне патологических процессов (некрозы в жабрах, почках, тератогенез половых клеток) (Там же). При этом изменения в эпителии жабр – увеличение клеточных элементов (гиперплазия) в первичном и вторичном эпителии, рост числа железистых клеток, предохраняющих жабры от прямого воздействия токсикантов растворенных в воде, оцениваются как неспецифические адаптивные реакции на тканевом уровне (Ложниченко, 1997; Лепилина, Романов, 2005). В то же время у рыб обнаруживались морфофункциональные изменения в нефронах почек и гонад. Наличие спектра морфологических отклонений в развитии ооцитов разных стадий развития (прото- и трофоплазматический рост) у самок стерляди в силу их изолированности от непосредственного воздействия среды является результатом опосредованного эффекта через цепь физиолого-биохимических отклонений в функционировании в органах дыхания (гипоксия), в органов кроветворения (анемия) и системе кровообращения (сосудистые расстройства), в печени (нарушения жирового обмена) (Там же).

Установлено, что у рыб в условиях техногенного воздействия не все органы и ткани поражаются в одинаковой мере; наиболее серьезные

изменения претерпевают жабры, непосредственно контактирующие с токсикантом (Шарова, Лукин, 2004). Не менее реактивно реагируют изменением структуры почки, а также печень – основной орган детоксикации. При этом сердечная мышца и репродуктивные органы являются структурами наиболее инертными к действию различного рода токсикантов (Там же). По мнению Шаровой Ю.Н. и Лукина А.А. (2004) гипертрофия изначально имеет приспособительное значение, направленное на компенсацию функций поврежденного органа или системы. Так, например, увеличение высоты жаберного эпителия, являющееся определяющим фактором гипертрофии филаментов, отчасти нейтрализует воздействие токсикантов на жаберные структуры (Там же). Таким образом, регистрируемые у рыб некротические процессы и неоплазия относятся к разряду необратимых, когда восстановление структуры и функции невозможно, а развивающиеся параллельно с ними гипертрофия, гиперплазия, инкапсуляция являются структурно функциональными основами компенсаторно-приспособительных реакций, позволяющих организму перейти на новый уровень функционирования и выжить в изменяющихся условиях среды обитания (Там же).

В экологических условиях Саратовского, Куйбышевского водохранилищ и их притоков у разных видов рыб нами зафиксировано 56 типа патологий внутренних органов: 21 тип патологий жабр, 11 – печени, 17 – гонад и 7 – миокарда.

Гистологическое исследование внутренних органов показало, что 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 их притоков различного порядка. Так, среди плотвы Саратовского водохранилища доля плотвы без гистопатологий внутренних органов составила 26,7%, а в популяции плотвы Куйбышевского водохранилища процент здоровых особей не превышал 12,3% (таблица 28).

**Таблица 28.** Встречаемость особей с гистологическими патологиями внутренних органов среди рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги.

Виды рыб	Число обследованных особей, экз.	Доля рыб без патологий внутренних органов, %	Встречаемость рыб с патологиями внутренних органов, %			
			жабры	печень	гонады	миокард
1	2	3	4	5	6	7
Саратовское водохранилище						
Плотва	86	26,7±4,80	58,1±5,35	31,4±5,03	18,6±4,22	13,9±3,76
Лещ	88	9,1±3,08	82,9±4,03	39,8±5,25	21,6±4,41	15,9±3,92
Окунь	63	11,1±3,99	66,7±5,99	33,3±5,99	25,4±5,53	22,2±5,28
Бычок-кругляк	97	19,6±4,05	68,0±4,76	43,3±5,06	36,1±4,90	16,5±3,79
Бычок-головач	89	5,6±2,46	88,8±3,37	48,3±5,33	40,5±5,23	16,9±3,99
Бычок-цуцик	61	6,6±3,19	93,4±3,20	88,5±4,12	26,2±5,68	11,5±4,12
Ротан-головешка	112	9,8±2,82	77,7±3,95	40,2±4,65	36,6±4,57	13,4±3,23
р. Самара (приток Саратовского водохранилища первого порядка)						
Плотва	59	49,2±6,56	32,2±6,14	13,6±4,50	5,1±2,88	1,7±1,69
Бычок-кругляк	53	45,3±6,90	32,1±6,47	26,4±6,11	11,3±4,39	7,6±3,66
р. Съезжая (приток Саратовского водохранилища второго порядка)						
Плотва	54	53,7±6,85	33,3±6,48	5,6±3,15	3,7±2,59	3,7±2,59
Уклея	43	60,5±7,54	27,9±6,92	4,7±3,25	2,3±2,33	2,3±2,33
р. Большой Кинель (приток Саратовского водохранилища второго порядка)						
Плотва	57	56,1±6,63	36,8±6,45	19,3±5,27	5,3±2,98	-



Таблица 28. Окончание.

1	2	3	4	5	6	7
Куйбышевское водохранилище						
Плотва	65	12,3±4,11	78,5±5,14	49,2±6,25	29,2±5,69	18,5±4,85
Лещ	71	9,9±3,56	81,7±4,62	64,8±5,71	32,4±5,59	21,1±4,88
Бычок-кругляк	63	6,4±3,09	68,3±5,91	66,7±5,99	25,4±5,53	22,2±5,28
Бычок-головач	57	7,0±3,41	68,4±6,21	63,2±6,45	24,6±5,75	19,3±5,27
р. Большой Черемшан (приток Куйбышевского водохранилища первого порядка)						
Плотва	67	61,2±5,99	20,9±5,00	13,4±4,19	8,9±3,52	-
Уклея	37	59,5±8,18	40,5±8,18	16,2±6,14	10,8±5,18	-
р. Нылга (приток Куйбышевского водохранилища пятого порядка)						
Плотва	61	73,8±5,68	22,9±1,72	9,8±3,85	-	-
Уклея	57	68,4±6,21	26,3±5,88	12,3±4,39	-	-
р. Ува (приток Куйбышевского водохранилища пятого порядка)						
Плотва	48	60,4±7,13	35,4±6,98	16,7±3,53	-	-
Уклея	63	73,0±5,64	25,4±5,53	11,1±3,99	-	-
р. Позимь (приток Куйбышевского водохранилища третьего порядка)						
Плотва	54	16,7±5,12	72,2±6,15	16,7±5,12	5,6±3,15	-
Уклея	52	13,5±4,78	82,7±5,29	36,5±6,74	17,3±5,29	-

Среди представителей других видов рыб из водохранилищ встречаемость особей без патологий внутренних органов еще ниже, их доля варьирует от 5,6% у бычка-головача до 19,6% среди бычка-кругляка в Саратовском водохранилище, и от 7,0% среди леща до 9,9% среди леща Куйбышевского водохранилища (таблица 28).

В то же время в большинстве обследованных притоков обоих водохранилищ, не испытывающих выраженной антропогенной нагрузки, основу популяций всех видов рыб составляли особи с органами без проявлений патологического процесса.

Так, в р. Съезжая и р. Большой Кинель среди плотвы процент здоровых по данному признаку особей составлял 53,7 и 56,1%, соответственно, а среди уклей из р. Съезжая доля здоровых рыб достигала 60,5%. Однако в устьевом участке р. Самара, который значительно подтоплен загрязненными водами Саратовского водохранилища, доля здоровых особей среди плотвы (49,2%) и бычка-кругляка (45,3%) составила менее половины от всех обследованных особей, но это почти в два раза выше, чем среди рыб из самого Саратовского водохранилища (таблица 28).

В притоках Куйбышевского водохранилища встречаемость здоровых особей также зависит лишь от уровня антропогенной нагрузки на водоем.

В реках Большой Черемшан, Нылга и Ува основу популяций плотвы и уклей составили особи без гистопатологий внутренних органов, их процент варьировал от 59,5% среди уклей из р. Б. Черемшан до 73,8% у плотвы из р. Нылга. В то же время у рыб из реки Позимь, чьи воды сильно загрязнены бытовыми и промышленными стоками, доля здоровых рыб не превышала 16,7% среди плотвы и 13,5% среди уклей (таблица 28).

У рыб из Саратовского и Куйбышевского водохранилищ зафиксированы гистопатологии во всех обследованных органах и тканях – жабрах, печени, гонадах и миокарде, тогда как у плотвы и уклей из всех притоков Куйбышевского водохранилища не встречено особей с патологиями миокарда. Среди рыб из р. Нылга и Ува, являющихся наиболее

благополучными в экологическом плане водоемами, не обнаружено также особей с гистопатологиями гонад. У рыб из притоков Саратовского водохранилища патологий миокарда не зафиксировано только у плотвы из р. Большой Кинель, в остальных обследованных реках рыбы с патологиями гонад и миокарда встречались. Однако процент таких особей в притоках Саратовского водохранилища был минимальным, рыбы с гистопатологиями гонад и миокарда обнаруживались редко или единично.

Закономерным является тот факт, что среди рыб с гистопатологиями внутренних органов из всех обследованных водоемов и водотоков наиболее часто фиксировались особи с патологиями жабр. В Куйбышевском и Саратовском водохранилищах такие особи составили основу популяции среди всех видов рыб. Среди плотвы Саратовского водохранилища доля рыб с гистопатологиями жаберного аппарата была минимальной – 58,1%, тогда как среди бычка-цуцика из данного водоема процент таких особей в популяции достигал 93,4%. В Куйбышевском водохранилище встречаемость особей с патологиями жабр среди обследованных видов варьировала от 68,3% среди бычка-кругляка до 81,7% среди леща (таблица 28).

Патологии жабр обнаружены у наибольшего количества особей в обоих водохранилищах, так как жабры являются органом, напрямую контактирующим с внешней средой и, в силу этого, испытывающим непосредственное воздействие неблагоприятных факторов, в том числе и комплекса загрязнителей. В притоках водохранилищ, где уровень загрязнений значительно ниже, а основные гидрологические факторы благоприятнее для жизнедеятельности рыб, чем в водохранилищах, встречаемость особей с гистопатологиями жабр также понижена. Так в р. Большой Кинель (приток Саратовского водохранилища) максимальная доля особей плотвы с жаберными патологиями не превышает 36,8%, а в р. Ува среди плотвы максимальный процент таких рыб составлял 35,4% (таблица 28). Исключение составляют особи плотвы и уклейи из р. Позимь, где высок уровень содержания в воде различных загрязнителей, там встречаемость рыб

с гистопатологиями жабр составила 72,2 (плотва) и 82,7% (уклея), что сравнимо с долей таких особей в водохранилищных популяциях.

Состояние других внутренних органов – печени, гонад и миокарда, зависит от воздействия внешних неблагоприятных факторов среды в меньшей степени, чем состояние жабр, так как данные факторы (прежде всего – комплексное антропогенное загрязнение) воздействуют на эти органы опосредованно через кровь и лимфу. Тем не менее, разных видов рыб из обоих водохранилищ значительна доля особей с патологиями печени, гонад и миокарда, что подтверждает высокую степень и хронический характер воздействий антропогенных загрязнений на отдельных рыб и популяции в целом.

Так в Саратовском водохранилище встречаемость особей с различными гистопатологиями печени варьирует от 31,4 (плотва) до 88,5% (бычок-цуцик), а доля рыб с патологиями гонад достигала 40,5% (бычок-цуцик) при минимальной встречаемости среди плотвы – 18,6%. В Куйбышевском водохранилище процент рыб с патологиями печени и гонад также был высок. Гистопатологии печени зафиксированы у 49,2% плотвы (минимальная встречаемость) и 66,7% бычка-кругляка (максимальная встречаемость), а доля особей с патологиями гонад варьировала от 24,6% среди бычка-головача до 32,4% среди леща (таблица 28). Среди всех обследованных видов рыб из обоих водохранилищ наименьшей являлась встречаемость особей с гистопатологиями миокарда, однако максимальный процент таких рыб достигал 22,2% у окуня Саратовского водохранилища и бычка-кругляка Куйбышевского водохранилища (таблица 28).

Таким образом, в ряду жабры → печень → гонады → миокард выявлена тенденции снижения доли особей в популяции с гистопатологиями каждого органа. Такая закономерность стабильно сохраняется в водоемах с разным уровнем антропогенной нагрузки, какими являются волжские водохранилища и их притоки. Это объясняется разной степенью чувствительности обследованных внутренних органов к внешним средовым

воздействиям вследствие различия локализации, физиологических функций и уровня нагрузки на каждый орган. Так наиболее подверженным воздействию внешним неблагоприятным факторам среды оказываются жабры ввиду прямого контакта с внешней средой, а наименее чувствительными в этом ряду являются ткани миокарда, так как они напрямую функционально не связаны с процессами интоксикации и детоксикации организма. Наличие гистопатологий в сердечной мышце является показателем глубины и выраженности патологического процесса в исследуемом организме.

### **5.2.1. Встречаемость особей с гистопатологиями жаберного аппарата**

Жабры рыб являются тем органом, который постоянно контактирует непосредственно с водой, и от ее качества напрямую зависит состояние тканевых структур данного органа и особи в целом.

Жаберная дуга рыб в норме состоит из хрящевого основания пронизанного веной и артерией. От хрящевого основания отходят жаберные тычинки, состоящие из хряща и соединительной ткани, а так же жаберные лепестки первого порядка - филаменты, содержащие внутри кровеносный сосуд. На поверхности филамента располагаются два ряда жаберных лепестков второго порядка – ламелл; каждый такой лепесток содержит кровеносный капилляр, в котором и происходит процесс газообмена. Жаберные лепестки 1-го и 2-го порядка покрыты мембраной покровного эпителия.

Более ранними исследованиями доказано, что при загрязнении воды тяжелыми металлами у рыб на жабрах образуются опухоли и язвы, а сами жабры редуцированы и имеют бледную окраску (Bolotova, Kononov, 2003). Одинаковые дегенеративные изменения жаберных лепестков второго порядка (ламелл): увеличение числа хлоридных клеток, некротические процессы, поражения жаберного эпителия (гиперплазия клеток) зафиксированы у рыб при воздействии загрязнителей различной природы,

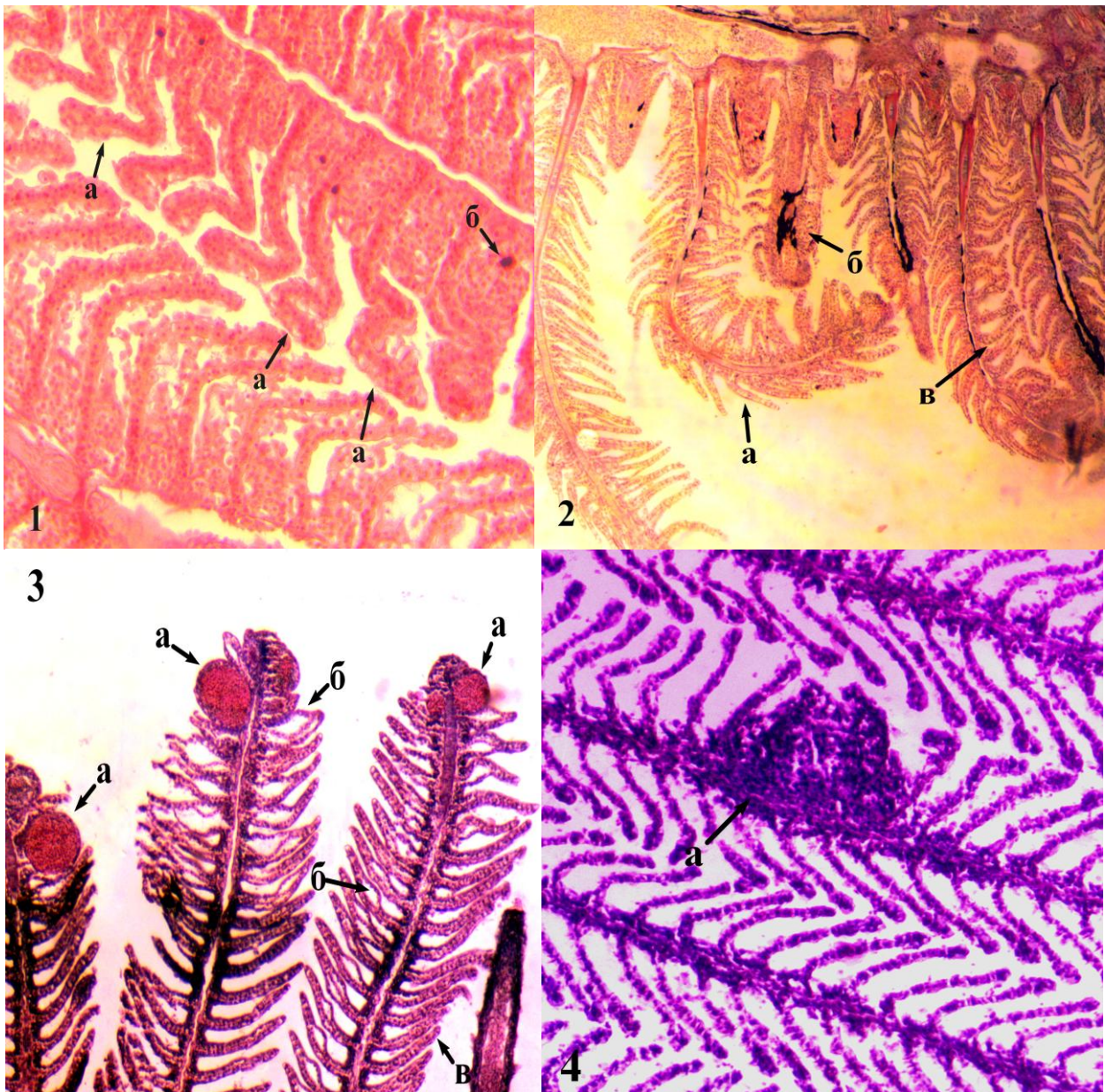
таких как нимакс (препарат на основе растительного сырья) (Lazaras Asha et al., 2004) и нитрат свинца (неорганический загрязнитель) (Parashar, Banerjee, 2002). Органические загрязнители, в частности – линдан ( $\gamma$ -HCH), вызывает в жабрах рыб расширение кровеносных сосудов, гиперплазию и отслоение эпителия ламелл, их укорочение (недоразвитие), слияние или некроз (Ortiz Juan, Gonzalez de Canales, 2003). Подобные нарушения в строении жабр нами зафиксированы у рыб из обследованных волжских водоемов, что свидетельствует об определенном уровне их загрязнения.

За весь период исследования у рыб из Саратовского, Куйбышевского водохранилищ и их притоков был зафиксирован двадцать один тип гистопатологий жаберного аппарата. Все обнаруженные типы патологий могут отличаться по степени выраженности у рыб из водоемов с разным гидрологическим режимом и уровнем антропогенной нагрузки, однако, во всех исследованных водоемах особи с патологиями жабр преобладают над особями с гистопатологиями других органов. Все обнаруженные гистопатологии жабр охарактеризованы нами следующим образом:

1. **Искривление жаберных лепестков первого порядка – филламентов** (рисунки 66.2а). В нормальном состоянии жаберные лепестки первого порядка должны быть прямыми и их гистологический срез должен выглядеть относительно симметрично. В случае патологии жаберный лепесток первого порядка имеет одно или несколько искривлений различной степени выраженности.

2. **Искривление жаберных лепестков второго порядка – ламелл** (рисунки 66.1а, 66.2в). Жаберные лепестки второго порядка, которые в норме должны быть относительно прямыми, в случае патологии имеют ярко выраженные угловатые изгибы и волнообразные деформации. Один жаберный лепесток второго порядка может быть искривлен в нескольких местах. Участки филламента с искривленными ламеллами могут состоять всего из одного или нескольких деформированных ламелл либо быть достаточно обширными и занимать всю поверхность филламента.





**Рисунок 66.** Гистопатологии жабр у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – плотва, р. Нылга ( $\times 100$ ), а – искривления ламелл, б – пигментированное новообразование; 2 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), а – искривление филамента, б – недоразвитие филамента, присутствует эрозия сосуда филамента с пигментацией), в – искривления ламелл; 3 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), а – инфильтрация ламелл, б – отслоение эпителия ламелл, в – ламеллы в состоянии нормы; 4 – плотва, р. Большой Кинель ( $\times 100$ ), а – очаг инфильтрации филамента с признаками дисплазии (некрот).

3. **Инфильтрация ламелл.** На препарате выглядит как вздутие ламеллы, при этом капилляр ламеллы сильно расширен, иногда до шарообразного состояния, и наполнен клетками крови (рисунок 66.3а). Часто кровяные клетки локализуются за границей покровного эпителия ламеллы, образуя наружные сгустки. При этом не наблюдается разрастания соединительной ткани или каких-либо других гистологических нарушений. Сама патология капилляра, зачастую, вызвана негативными внешними воздействиями (интоксикацией, резкими перепадами температуры, давления или кислородного режима).

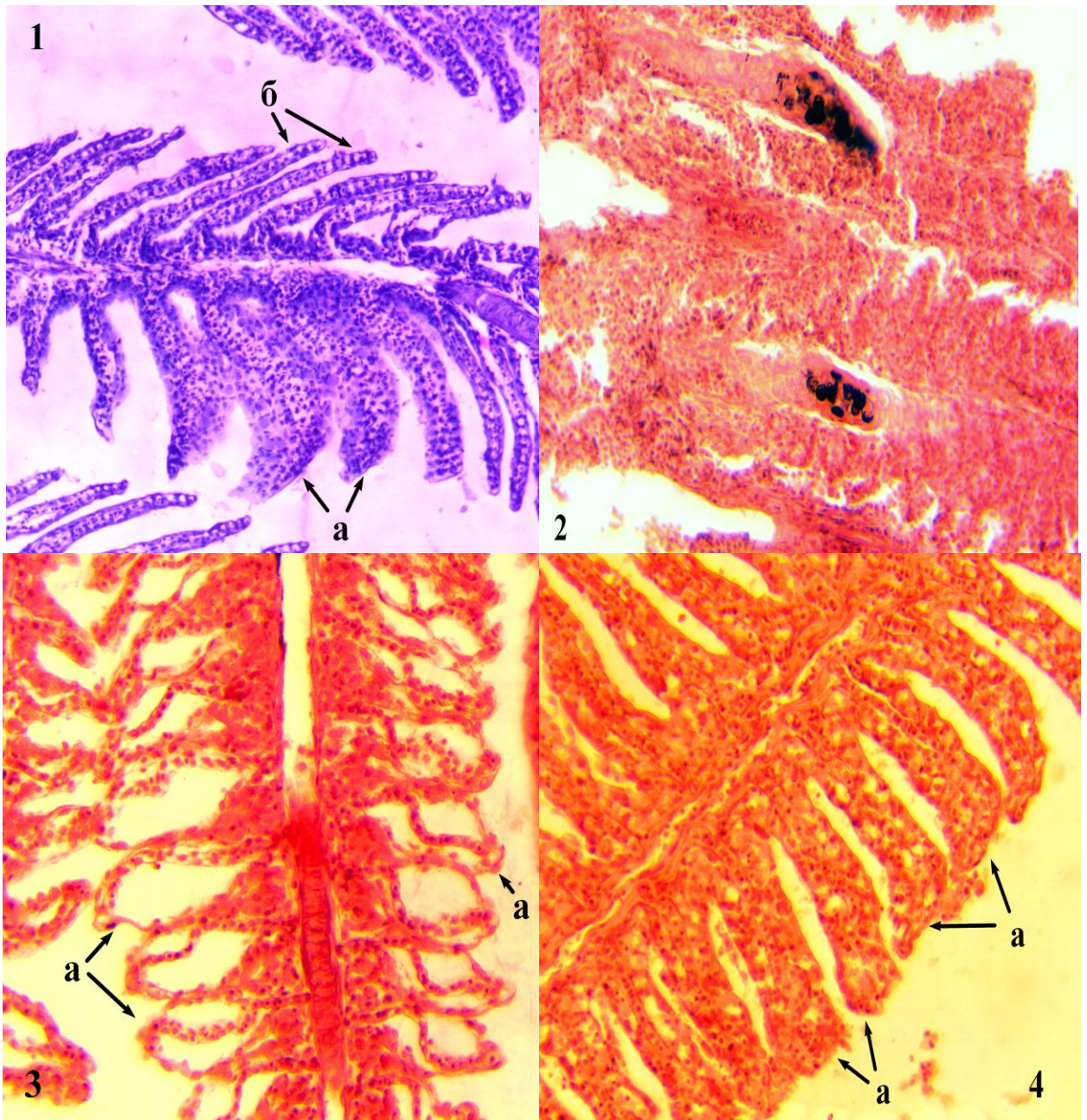
4. **Инфильтрация филамента.** Из кровеносного сосуда филамента клетки крови просачиваются за границу покровного эпителия филамента (рисунок 66.4а). Данная патология, как правило, локализуется в месте эрозии кровеносного сосуда и сопровождается дисплазией ткани филамента.

5. **Дисплазия (некроз) тканей ламелл** (рисунки 67.1а, 67.2). В очагах некроза наблюдаются скопления разрушенных клеток характерных для того вида ткани, в котором зафиксирован очаг. Данная гистологическая патология является самой тяжелой и свидетельствует о критическом состоянии отдельной особи. Однако при дисплазии ламелл состояние ткани самого филамента может полностью соответствовать норме.

6. **Дисплазия (некроз) филамента** (рисунки 66.4а, 67.2). В покровных тканях, тканях кровеносного сосуда и паренхимы филамента наблюдаются скопления разрушенных клеток характерных для того вида ткани, в котором зафиксирован очаг. Как правило, такая патология сопровождается дисплазией ламелл этого филамента.

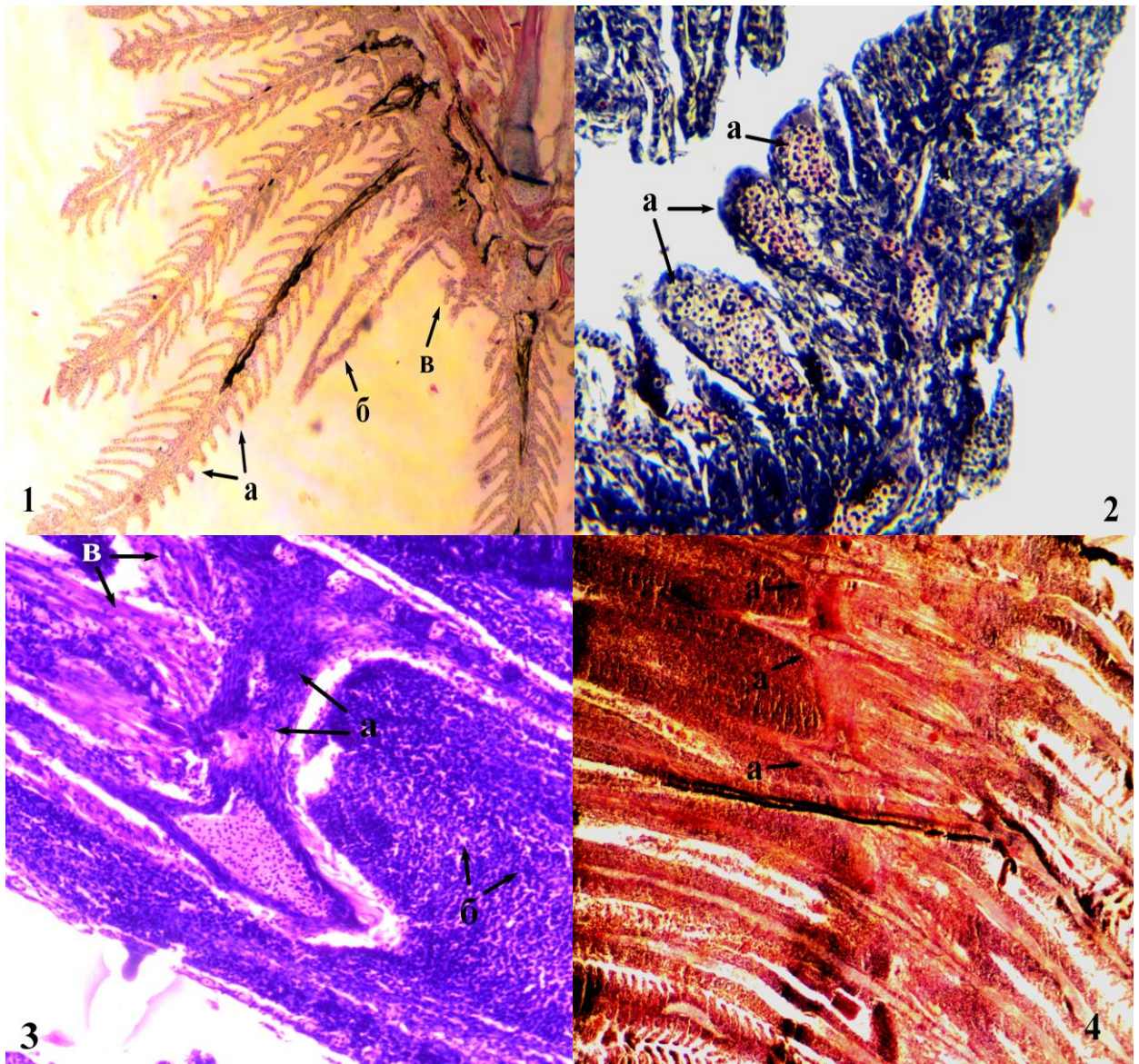
7. **Отслоение покровного эпителия ламелл** (рисунки 66.3б, 67.3а, 69.2б). Между капилляром ламеллы и ее покровным эпителием образуется полость, заполненная межтканевой жидкостью. Подобная полость может присутствовать либо на каком-либо участке ламеллы, либо на всем ее протяжении.





**Рисунок 67.** Гистопатологии жабр у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – дисплазия (некроз) ламелл, б – нормальные ламеллы; 2 – плотва, р. Ува ( $\times 100$ ), обширная дисплазия филamentos и ламелл, присутствует эрозия сосуда филамента с пигментацией); 3 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – отслоение эпителия ламелл; 4 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 200$ ), а – разрастание (гипертрофия) покровного эпителия ламелл.





**Рисунок 68.** Гистопатологии жабр у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), а – недоразвитие ламелл, б – недоразвитие филамента, полностью отсутствуют ламеллы, в – отсутствие одного филамента; 2 – ротан-головешка, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), а – соединительнотканые разрастания ламелл; 3 – лещ, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – место срастания двух филаментов, б – срастание ламелл в однородную ткань с признаками дегенерации и дисплазии, в – разрастание соединительной ткани в филаментах; 4 – уклея, р. Большой Черемшан ( $\times 100$ ), а – место срастания трех филаментов с обширным разрастанием соединительной ткани.

Ламеллы с отслоившимся эпителием могут быть локализованными мелкими очагами или располагаться на всем протяжении филамента, это зависит от степени неблагоприятного воздействия окружающей среды на жаберный аппарат.

**8. Разрастания соединительной ткани ламелл** (рисунок 68.2а). Клетки соединительной ткани, окрашенные на препаратах в оттенки красного цвета, образуют аномальные скопления в стенках ламелл. Подобные разрастания приводит к деформации и самих жаберных лепестков. В норме подобных разрастаний наблюдаться не должно.

**9. Разрастания соединительной ткани филамента** (рисунок 68.3в). В какой-либо части филамента наблюдается заметное утолщение образованное соединительной тканью, иногда с присутствием ткани стенок кровеносного сосуда. В нормальном состоянии филаменты не имеют подобных утолщений.

**10. Разрастание покровного эпителия ламелл** (рисунок 67.4а). Эпителий жаберных лепестков второго порядка в норме образован одним слоем покровных клеток. В случае патологии клетки эпителия располагаются в несколько слоев. На участках ламелл с подобными разрастаниями уровень газообмена не соответствует норме.

**11. Отсутствие ламелл** (рисунок 68.1б). На поверхности филамента встречаются участки с полным отсутствием одного или нескольких жаберных лепестков второго порядка, что уменьшает площадь газообмена. Данные участки покрыты обычным покровным эпителием. В норме филамент должен быть равномерно покрыт ламеллами от основания до апикальной части.

**12. Отсутствие филamentos** (рисунок 68.1в). На поверхности жаберной дуги встречаются участки с полным отсутствием одного или нескольких филamentos.

**13. Недоразвитие ламелл** (рисунок 68.1а). Ламеллы выглядят сильно укороченными по сравнению с нормальными жаберными лепестками. Данная

картина может сопровождаться заметным утолщением лепестка в основании и искривлениями различной степени тяжести.

**14. Недоразвитие филamentos** (рисунки 66.2б, 68.1б). Патологические филamentos выглядят значительно укороченными по сравнению с нормальными жаберными лепестками. Данная патология может сопровождаться деформацией филамента, недоразвитием или отсутствием ламелл на дефектном филamente, а также различными тканевыми гистопатологиями – эрозией кровеносного сосуда, дисплазией, разрастаниями соединительной ткани.

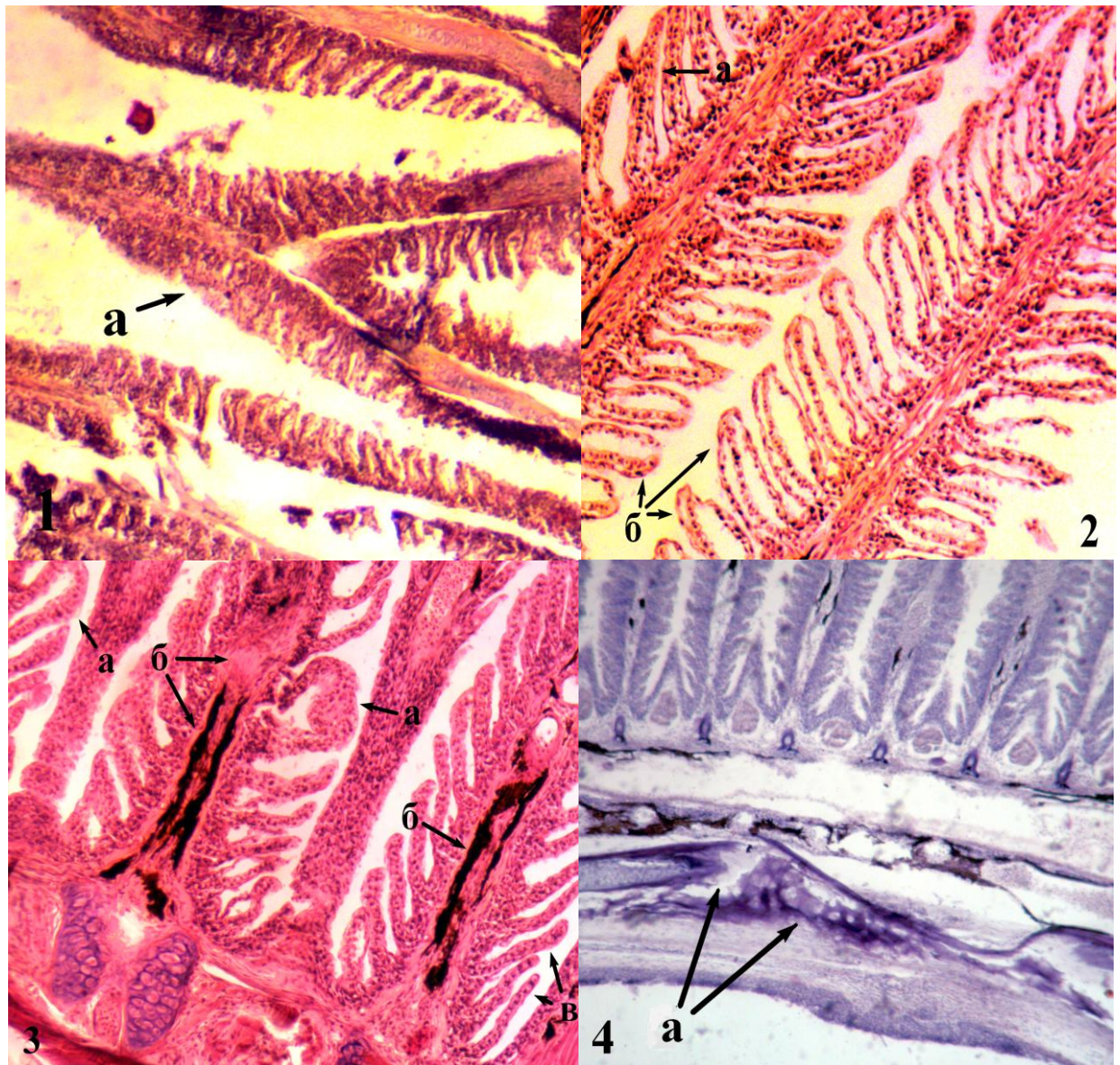
**15. Раздвоение ламелл** (рисунок 69.2а). В нормальном состоянии ламелла представляет собой вытянутый плоский лепесток, состоящий из капилляра и покровного эпителия. В случае патологии ламелла имеет дополнительный отросток либо разделяется на две примерно части выше своего основания.

**16. Раздвоение филамента** (рисунок 69.1а). Данная патология обнаружена нами единично. Жаберный лепесток первого порядка разветвлен на две части, каждая из которых снабжена ламеллами.

**17. Срастание ламелл** (рисунок 68.3б). Несколько ламелл срастаются полностью или частично. Иногда срастаются только апикальные части жаберных лепестков (рисунок 69.3а).

**18. Срастание филamentos** (рисунки 68.3а, 68.4а). В норме жаберные лепестки первого порядка, отходя от жаберной дуги, разделены пространством равным толщине самого жаберного лепестка. В случае патологии два и более жаберных лепестка представляют собой единое тканевое образование с количеством кровеносных сосудов соответствующем количеству сросшихся лепестков. При этом сильно уменьшается площадь покровного эпителия и, соответственно, уровень газообмена. Данное нарушение часто сопровождается беспорядочным разрастанием соединительной ткани и беспорядочными деформациями сросшихся филamentos.





**Рисунок 69.** Гистопатологии жабр у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – укляя, р. Ува ( $\times 100$ ), а – раздвоение филамента; 2 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 200$ ), а – раздвоение одиночной ламеллы, б – отслоение эпителия большей части ламелл; 3 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), а – апикальные сращения двух ламелл, б – эрозия сосудов филаментов с пигментацией, в – ламеллы в состоянии нормы; 4 – ротан-головешка, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – нарушение структуры хряща жаберной дуги.

**19. Эрозия кровеносного сосуда филамента (рисунки 66.2б, 69.3б).**

Стенки кровеносного сосуда жаберного лепестка первого порядка разрушены, в результате чего клетки крови заполняют пространство между покровным эпителием и стенкой сосуда филамента. Данный процесс, как правило, сопровождается повышенной пигментацией и дисплазией окружающих тканей.

**20. Нарушение структуры хрящевой ткани жаберной дуги (рисунок 69.4а).** Данная патология встречается очень редко и выражается в аномальном разрастании клеток хрящевой ткани. Эти клетки зачастую сильно увеличены в размерах и деформированы. На препарате данное разрастание окрашено в оттенки синего и фиолетового цвета.

**21. Пигментированные новообразования в тканях жаберной дуги (рисунок 66.1б).** Скопления образований черного цвета, присутствующие в любых тканях филамента или ламелл. Размер новообразований варьирует.

Наибольшее разнообразие типов гистопатологий жаберных структур зафиксировано у рыб Саратовского водохранилища. Все типы патологий, за исключением обнаруживающихся редко или единично – отсутствие филамента (1,1% у леща), отсутствие ламелл (от 5,2% среди бычка-кругляка до 9,8% у ротана-головешки), недоразвитие ламелл (от 2,3% среди бычка-головача до 8,2% у бычка-цуцика), недоразвитие филамента (1,0% у бычка-кругляка, 4,9% среди бычка-цуцика), раздвоение ламелл (1,1% у леща, 1,6% у окуня), пигментированные новообразования (2,7% среди головешки ротана), зафиксированы как у бычковых, так и у карповых видов рыб и окуня (таблица 29). К числу таких патологий относятся, прежде всего, различные искривления ламелл и филамента, инфильтрации клеток крови в ткань органа, дисплазия (некроз) ламелл и филамента, отслоения эпителия ламелл и срастания ламелл.

В популяциях окуня и бычка-цуцика доля особей с искривлениями ламелл достигала 49,2 и 70,5%, соответственно (таблица 29).

**Таблица 29.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий жаберного аппарата среди рыб Саратовского водохранилища

Тип патологии жабр	Встречаемость особей с различными типами патологий жабр, %						
	плотва	лещ	окунь	бычок-кругляк	бычок-головач	бычок-цуцик	ротан-головешка
1. Искривление ламелл	27,9±4,87	35,2±5,12	49,2±6,35	32,9±4,80	53,9±5,31	70,5±5,89	24,1±4,06
2. Искривление филамента	1,2±1,16	3,4±1,95	4,8±2,70	19,6±4,05	10,1±3,21	19,7±5,13	34,8±4,52
3. Инфильтрация ламелл	29,1±4,93	28,4±4,84	11,1±3,99	11,3±3,24	31,5±4,95	18,0±4,96	21,4±3,89
4. Инфильтрация филамента	8,1±2,97	7,9±2,90	-	11,3±3,24	31,5±4,95	21,3±5,29	-
5. Дисплазия ламелл	27,9±4,87	44,3±5,33	14,3±4,44	31,9±4,76	68,5±4,95	63,9±6,20	16,9±3,56
6. Дисплазия филамента	8,1±2,97	13,6±3,68	-	9,3±2,96	16,9±3,99	6,6±3,19	-
7. Отслоение эпителия ламелл	30,2±4,98	37,5±5,19	14,3±4,44	13,4±3,48	48,3±5,33	19,7±5,13	7,1±2,44
8. Разрастание соединительн. ткани ламелл	-	2,3±1,60	4,8±2,70	3,1±1,77	-	-	9,8±2,82
9. Разраст. соединит. ткани филамента	1,2±1,16	-	-	2,1±1,45	-	-	16,1±3,49
10. Разраст. покровного эпителия ламелл	-	12,5±3,55	-	5,2±2,26	-	-	-
11. Отсутствие ламелл	-	-	-	5,2±2,26	5,6±2,46	-	8,0±2,58
12. Отсутствие филамента	-	1,1±1,10	-	-	-	-	-
13. Недоразвитие ламелл	-	-	-	3,1±1,77	2,3±1,58	8,2±3,54	8,0±2,58
14. Недоразвитие филамента	-	-	-	1,0±1,00	-	4,9±2,79	-
15. Раздвоение ламелл	-	1,1±1,10	1,6±1,59	-	-	-	-
16. Раздвоение филамента	-	1,1±1,10	1,6±1,59	-	-	-	5,4±2,14
17. Срастания ламелл	9,3±3,15	12,5±3,55	25,4±5,53	19,6±4,05	6,7±2,67	14,8±4,58	10,7±2,94
18. Срастания филаментов	-	1,1±1,10	-	9,3±2,96	-	-	2,7±1,53
19. Эрозия сосуда филамента	-	-	3,2±2,23	-	1,1±1,10	11,5±4,12	21,4±3,89
20. Нарушение структуры хряща	1,2±1,16	1,1±1,10	-	1,0±1,00	-	-	0,9±0,89
21. Пигментированные новообразования	-	-	-	-	-	-	2,7±1,53

Процент рыб с дисплазией (некрозом) ламелл среди леща и бычка-головача достигал 44,3% и 68,5%, соответственно.

Таким образом, наиболее распространенные типы жаберных гистопатологий обнаружены среди всех обследованных видов рыб Саратовского водохранилища, а встречаемость особей с такими нарушениями высока как среди длинноплавниковых, так и среди короткоплавниковых видов рыб, что указывает на неспецифический характер данных патологий. Очевидна также и прямая зависимость возникновения гистопатологий жабр от экологических условий обитания особей.

В притоках же Саратовского водохранилища как разнообразие типов гистопатологий жабр, так и встречаемость рыб с тем или иным типом нарушения, значительно ниже. Так из двадцати одного типа патологий жабр, зафиксированных у рыб из Саратовского водохранилища, в трех его притоках у рыб зафиксированы лишь десять типов патологий: 7 типов в р. Самара, 5 типов в р. Большой Кинель, и всего 3 типа в р. Съезжая.

Общими типами патологий жабр для рыб из всех трех притоков оказались дисплазия и отслоение эпителия ламелл. Встречаемость особей с такими гистопатологиями была максимальной среди плотвы из р. Б. Кинель – 21,1% (дисплазия ламелл) и 19,3% (отслоение эпителия). Высока была также встречаемость особей плотвы и уклей в р. Съезжая с разрастанием покровного эпителия ламелл – 14,8% и 18,6%, соответственно (таблица 30).

Встречаемость рыб с другими гистопатологиями жабр в трех притоках Саратовского водохранилища была редкой или единичной, что доказывает более низкий уровень загрязнения этих водоемов.

Среди рыб из Куйбышевского водохранилища, уровень загрязнения которого высок, и его притоков, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки, наблюдалась аналогичная тенденция понижения разнообразия типов гистопатологий жабр, и встречаемости особей с отдельными типами патологий в водоемах с более благоприятными экологическими условиями (таблицы 31 и 32).



**Таблица 30.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий жаберного аппарата среди рыб из притоков Саратовского водохранилища

Тип патологии жабр	Встречаемость особей с различными типами патологий жабр, %				
	р. Самара		р. Съезжая		р. Большой Кинель
	плотва	бычок-кругляк	плотва	уклея	плотва
1. Искривление ламелл	-	11,3±4,39	-	-	8,8±3,78
2. Искривление филамента	-	1,9±1,89	-	-	-
3. Инфильтрация ламелл	5,1±2,88	-	-	-	-
5. Дисплазия ламелл	11,9±4,25	20,8±5,62	9,3±3,98	4,7±3,25	21,1±5,45
6. Дисплазия филамента	-	-	-	-	-
7. Отслоение эпителия ламелл	13,6±4,50	15,1±4,96	11,1±4,32	6,9±3,93	19,3±5,27
10. Разраст. покровного эпителия ламелл	6,8±3,30	7,6±3,66	14,8±4,88	18,6±6,00	-
11. Отсутствие ламелл	-	-	-	-	1,8±1,75
13. Недоразвитие ламелл	-	3,8±2,64	-	-	-
17. Срастания ламелл	-	-	-	-	1,8±1,75

**Таблица 31.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий жаберного аппарата среди рыб Куйбышевского водохранилища

Тип патологии жабр	Встречаемость особей с различными типами патологий жабр, %			
	плотва	лещ	бычок-кругляк	бычок-головач
1. Искривление ламелл	38,5±6,08	40,9±5,88	28,6±5,74	26,3±5,88
2. Искривление филамента	3,1±2,16	2,8±1,98	-	-
3. Инфильтрация ламелл	20,0±5,00	22,5±4,99	26,9±5,64	22,8±5,61
4. Инфильтрация филамента	1,5±1,54	7,0±3,06	-	-
5. Дисплазия ламелл	30,8±5,77	32,4±5,59	34,9±6,05	31,6±6,21
6. Дисплазия филамента	1,5±1,54	9,9±3,56	-	-
7. Отслоение эпителия ламелл	12,3±4,11	18,3±4,62	9,5±3,73	7,0±3,14
10. Разрастание покровного эпителия ламелл	-	-	4,8±2,70	-
11. Отсутствие ламелл	-	11,3±3,78	4,8±2,70	3,5±2,46
12. Отсутствие филамента	-	-	-	-
13. Недоразвитие ламелл	6,2±3,00	12,7±3,98	-	-
17. Срастания ламелл	-	-	6,4±3,09	3,5±2,46
18. Срастания филаментов	-	-	-	-
19. Эрозия сосуда филамента	1,5±1,54	4,2±2,39	3,2±2,23	-

**Таблица 32.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий жаберного аппарата среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища с минимальным уровнем антропогенной нагрузки

Тип патологии жабр	Встречаемость особей с различными типами патологий жабр, %					
	р. Большой Черемшан		р. Ува		р. Нылга	
	плотва	укляя	плотва	укляя	плотва	Укляя
1. Искривление ламелл	13,4±4,19	8,1±4,55	14,6±5,15	12,7±4,23	11,5±4,12	14,0±4,64
2. Искривление филамента	-	2,7±2,70	-	-	3,3±2,30	-
3. Инфильтрация ламелл	-	-	6,3±3,53	6,4±3,10	3,3±2,30	-
5. Дисплазия ламелл	8,9±3,52	21,6±6,86	18,8±5,69	15,9±4,64	-	8,8±3,78
6. Дисплазия филамента	-	-	-	-	1,6±1,64	1,8±1,75
7. Отслоение эпителия ламелл	8,9±3,52	10,8±5,18	4,2±2,92	4,8±2,70	-	-
10. Разрастание покровного эпителия ламелл	-	-	2,1±2,08	-	-	-
11. Отсутствие ламелл	-	2,7±2,70	-	-	-	-
15. Раздвоение ламелл	-	2,7±2,70	-	-	-	-
17. Срастания ламелл	4,5±2,55	-	6,3±3,53	4,8±2,70	8,2±3,54	3,5±2,46
18. Срастания филаментов	5,9±2,92	-	4,2±2,92	1,6±1,59	-	3,5±2,46

У рыб Куйбышевского водохранилища разнообразие типов гистопатологий жабр и встречаемость особей с тем или иным типом патологии несколько ниже, чем в Саратовском водохранилище.

Наиболее распространенные типы гистопатологий жабр – искривления ламелл (от 26,3% особей среди бычка-головача до 40,9% среди леща), инфильтрация ламелл (от 20,0% среди плотвы до 26,9% среди бычка-кругляка), дисплазия ламелл (от 30,8% среди плотвы до 34,9% среди бычка-кругляка), отслоение эпителия ламелл (от 7,0% особей среди бычка-кругляка до 18,3% особей среди леща) стабильно обнаруживались у всех обследованных видов рыб Куйбышевского водохранилища (таблица 31).

В то же время, в притоках Куйбышевского водохранилища, не испытывающих выраженной антропогенной нагрузки, как и в трех притоках Саратовского водохранилища, встречаемость рыб с отдельными типами гистопатологий жабр значительно ниже, чем в самом водохранилище. Менее выражено и разнообразие обнаруживаемых гистопатологий жабр. Наиболее часто встречающимися типами гистопатологий в трех притоках Куйбышевского водохранилища оказались искривления ламелл и дисплазия ламелл, особи с такими нарушениями зафиксированы среди плотвы и уклей из всех исследованных рек.

Доля особей с искривлением ламелл варьировала от 8,1% среди уклей из р. Б. Черемшан до 14,6% среди плотвы из р. Ува, а процент рыб с дисплазией ламелл был минимальным среди уклей из р. Нылга (8,8%) и максимальным (21,6%) среди уклей из р. Б. Черемшан (таблица 32). Встречаемость особей с другими девятью типами гистопатологий среди плотвы и уклей из притоков Куйбышевского водохранилища была минимальной либо единичной.

Такие гистопатологии как, например, отсутствие ламелл и раздвоение ламелл обнаружены лишь у единичных особей уклей ( $2,7 \pm 2,70\%$ ) из р. Большой Черемшан (таблица 32).

Несколько иная ситуация наблюдалась в р. Позимь, которая сильно загрязнена бытовыми и промышленными стоками г. Ижевска. У плотвы и уклей из этого водотока обнаружено двенадцать типов гистопатологий жабр, всего на два типа меньше чем у рыб из самого водохранилища (таблица 33). В р. Позимь встречаемость рыб с дисплазией ламелл более чем в два раза превысила таковую в Куйбышевском водохранилище и составила 66,7% особей среди плотвы и 69,2% среди уклей. Доля особей с такой патологией как срастание ламелл в р. Позимь была больше чем в Куйбышевском водохранилище в 4-5 раз, и составляла 27,8% среди плотвы и 23,1% среди уклей. Встречаемость рыб с инфильтрацией ламелл, отслоением эпителия ламелл и отсутствием ламелл практически не отличается от таковой среди рыб Куйбышевского водохранилища, что также является подтверждением значительной антропогенной нагрузки на экосистему р. Позимь.

**Таблица 33.** Встречаемость плотвы и уклей с различными типами гистопатологий жаберного аппарата в р. Позимь - притоке Куйбышевского водохранилища с сильным уровнем антропогенного загрязнения

Тип патологии жабр	Встречаемость особей с различными типами патологий жабр, %	
	плотва	уклея
1. Искривление ламелл	29,6±6,27	42,3±6,92
2. Искривление филамента	-	9,6±4,13
3. Инфильтрация ламелл	22,2±5,71	13,5±4,78
4. Инфильтрация филамента	-	11,5±4,49
5. Дисплазия ламелл	66,7±6,48	69,2±6,46
6. Дисплазия филамента	11,1±4,32	-
7. Отслоение эпителия ламелл	-	17,3±5,29
10. Разрастание покровного эпителия ламелл	7,4±3,59	-
11. Отсутствие ламелл	3,7±2,59	5,8±3,27
16. Раздвоение филамента	-	1,9±1,92
17. Срастания ламелл	27,8±6,15	23,1±5,90
18. Срастания филаментов	9,3±3,98	15,4±5,05

Таким образом, встречаемость рыб с различными типами гистопатологий жабр напрямую и в большей степени зависит от уровня антропогенного загрязнения изучаемых водоемов и водотоков, а видовая

принадлежность и особенности экологии обследованных рыб не являются определяющим фактором.

### **5.2.2. Встречаемость особей с гистопатологиями печени**

Печень является основным органом детоксикации проникающих в организм ядов. В этом органе содержатся ферменты и кофакторы, связанные как с 1-ой фазой (окисления), так и со 2-й фазой (конъюгации) путей детоксикации. Печень аккумулирует большинство токсикантов, но также выводит продукты метаболизма через желчь. Приблизительно 85% объема печени костистых рыб занимают гепатоциты. Изменения морфологии гепатоцитов и клеток желчного эпителия могут давать информацию, касающуюся функционирования этого органа и воздействия на организм токсикантов (Моисеенко, 2009). Изменения структуры печени могут быть успешно использованы как биомаркеры, которые отражают чувствительность рыб к стрессовым факторам окружающей среды (Hinton, Lauren, 1990; Wrona, Cash, 1996).

Печень не подвержена прямому воздействию неблагоприятных факторов среды, как, например жабры, но они влияют на ее строение и функции опосредовано – через кровь. По физиологическому и гистологическому состоянию печени можно успешно и относительно точно судить о состоянии внешних условий среды обитания той или иной особи. Так, например, после воздействия на рыб гербицидов (в частности – симазина) в печени карпа обнаруживались очаги некроза (Roncero et al., 2002), а после длительного воздействия на рыб раствором трихлоруксусной кислоты в печени выявлялись кисты и спонгиозное изменение паренхимы (Bashir Ahmed, 2002).

У рыб из обследованных водоемов и водотоков нами обнаружено 11 типов гистопатологий печени. Считаю необходимым привести описание обнаруженных патологий, так как для изученных нами видов рыб (бычок-кругляк, ротан-головешка, окунь, плотва, лещ) на Средней и Нижней Волге

подобного исследования ранее не проводилось.

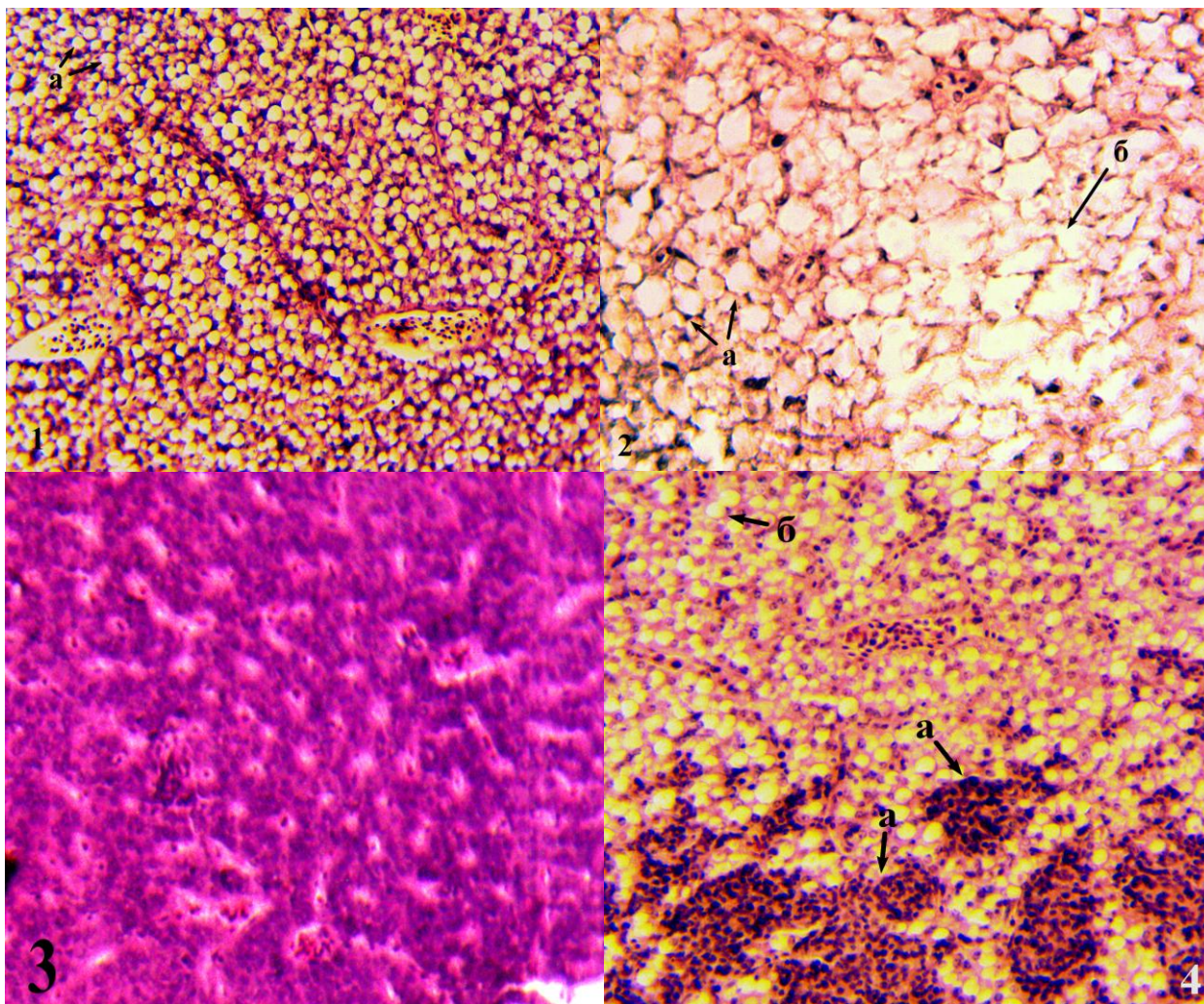
1. **Вакуольная дистрофия гепатоцитов** (рисунок 70.1а). Большинство гепатоцитов, составляющих ткань печени, внутри имеют вакуоли разного размера, чего в нормальном состоянии быть не должно (рисунок 70.3). При этом срез печени имеет характерный сетчатый рисунок.

2. **Вакуолизация единичных гепатоцитов** (рисунки 70.4б, 72.3б). В ткани печени лишь некоторые гепатоциты имеют внутри вакуоли различного размера. При этом сетчатый рисунок ткани не выражен.

3. **Инфильтрация клеток крови в ткань печени** (рисунок 70.4а). Различные клетки крови: эритроциты, эозинофилы, нейтрофилы, лимфоциты и т.д., инфильтруются из сосудов печени в пространство между гепатоцитами и печеночными дольками. Срез печени имеет ярко выраженный мраморный рисунок, так как сгустки клеток крови образуют в ткани темно-красные образования в виде прожилок и пятен вдоль мелких кровеносных сосудов. Данная патология, как правило, предшествует дисплазии печеночных тканей, так как некоторые лейкоциты: нейтрофилы и эозинофилы, выполняют фагоцитарную функцию.

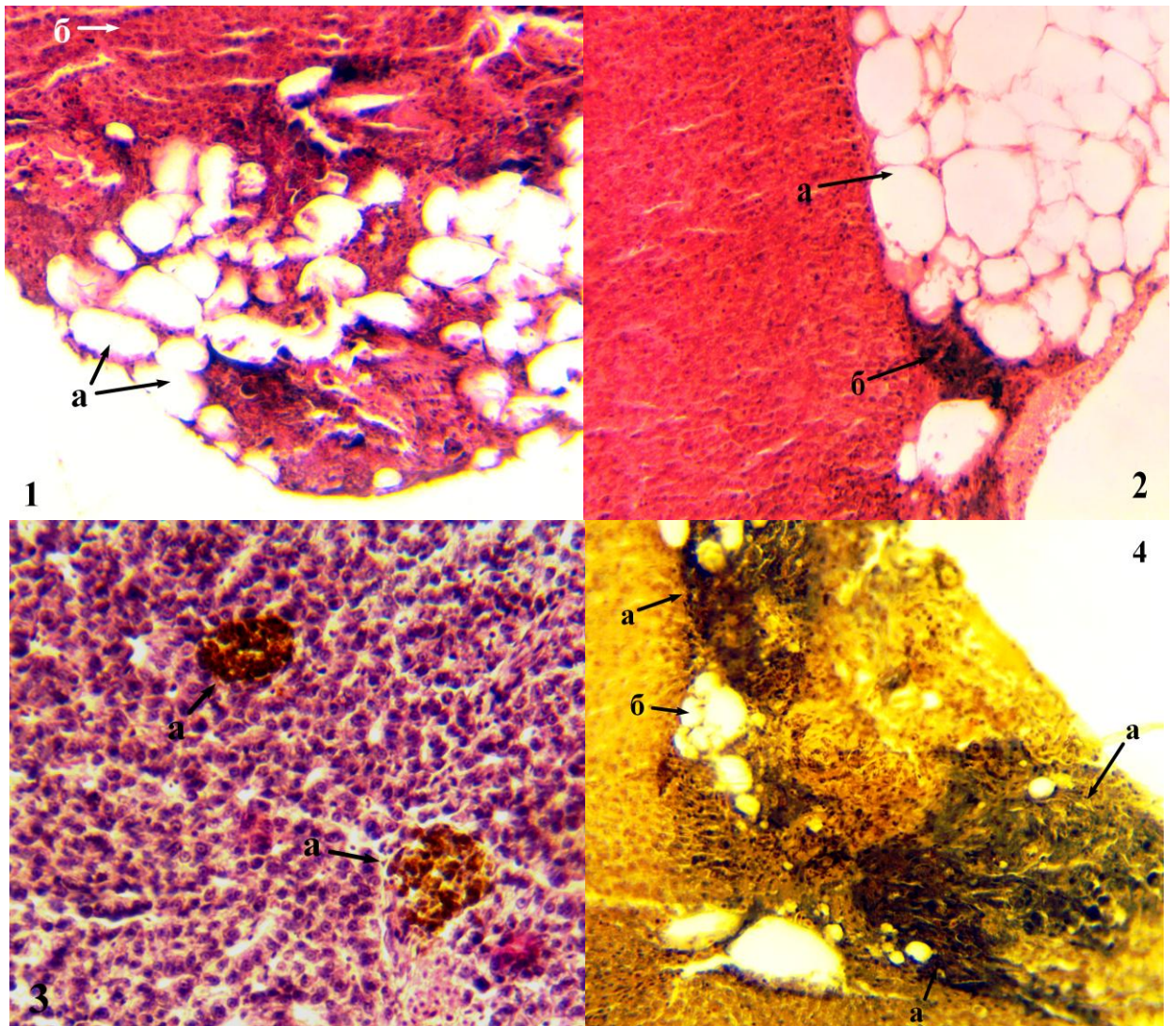
4. **Дисплазия гепатоцитов** (рисунки 70.2б, 72.2а). Отдельные гепатоциты или группы клеток теряют свою структуру в результате разрушения клеточной оболочки и внутренних структур. Скопления гепатоцитов, подверженных некрозу, выделяются на фоне специфического рисунка здоровой ткани печени в виде темных пятен с аморфной структурой. Наличие подобного типа патологии в любых внутренних органах является доказательством сильнейшего негативного внешнего воздействия на отдельную особь.

5. **Липоидная дегенерация гепатоцитов** (рисунки 71.1а, 71.2а, 71.4б, 70.2а). Одной из причин дегенеративного ожирения органа является повреждение, вызванное воздействием токсинов, из которых наиболее сильнодействующими являются соединения мышьяка и фосфора (Кокуричева, 1976).



**Рисунок 70.** Гистопатологии печени у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), вакуольная дистрофия гепатоцитов (сетчатый рисунок печени), а – крупные вакуоли в отдельных клетках; 2 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 200$ ), липоидная дегенерация печени: а – крупные жировые клетки, б – очаг дисплазии жировой клетчатки; 3 – плотва, р. Большой Черемшан ( $\times 100$ ), нормальный рисунок печени – гепатоциты образуют ровные гексагональные печеночные дольки, все клетки имеют ровные выраженные ядра и не имеют вакуолей; 4 – бычок-головач, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – обширные очаги инфильтрации, б – вакуолизация отдельных гепатоцитов.





**Рисунок 71.** Гистопатологии печени у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – укля, р. Ува ( $\times 100$ ), очаг липоидной дегенерации ткани печени, а – крупные фрагменты жировой клетчатки, б – нормальная ткань печени; 2 – плотва, р.Нылга ( $\times 100$ ), а – крупный обособленный очаг липоидной дегенерации печени, б – пигментированное новообразование; 3 – плотва, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – пигментированные новообразования; 4 – плотва, р. Нылга ( $\times 100$ ), новообразование смешанного типа, а – разрастания соединительной ткани с включениями пигментированных фрагментов, б – небольшие очаги липоидной дегенерации гепатоцитов.

Подобный эффект может объясняться способностью данных соединений изменять скорость окислительных процессов в организме, влияющих на утилизацию жира (Шарова и др., 2003). В наших случаях липоидная дегенерация выражается в частичном замещении гепатоцитов на жировую клетчатку (рисунок 71.4б) либо в жировом перерождении большей части отдельных гепатоцитов (рисунок 71.2а).

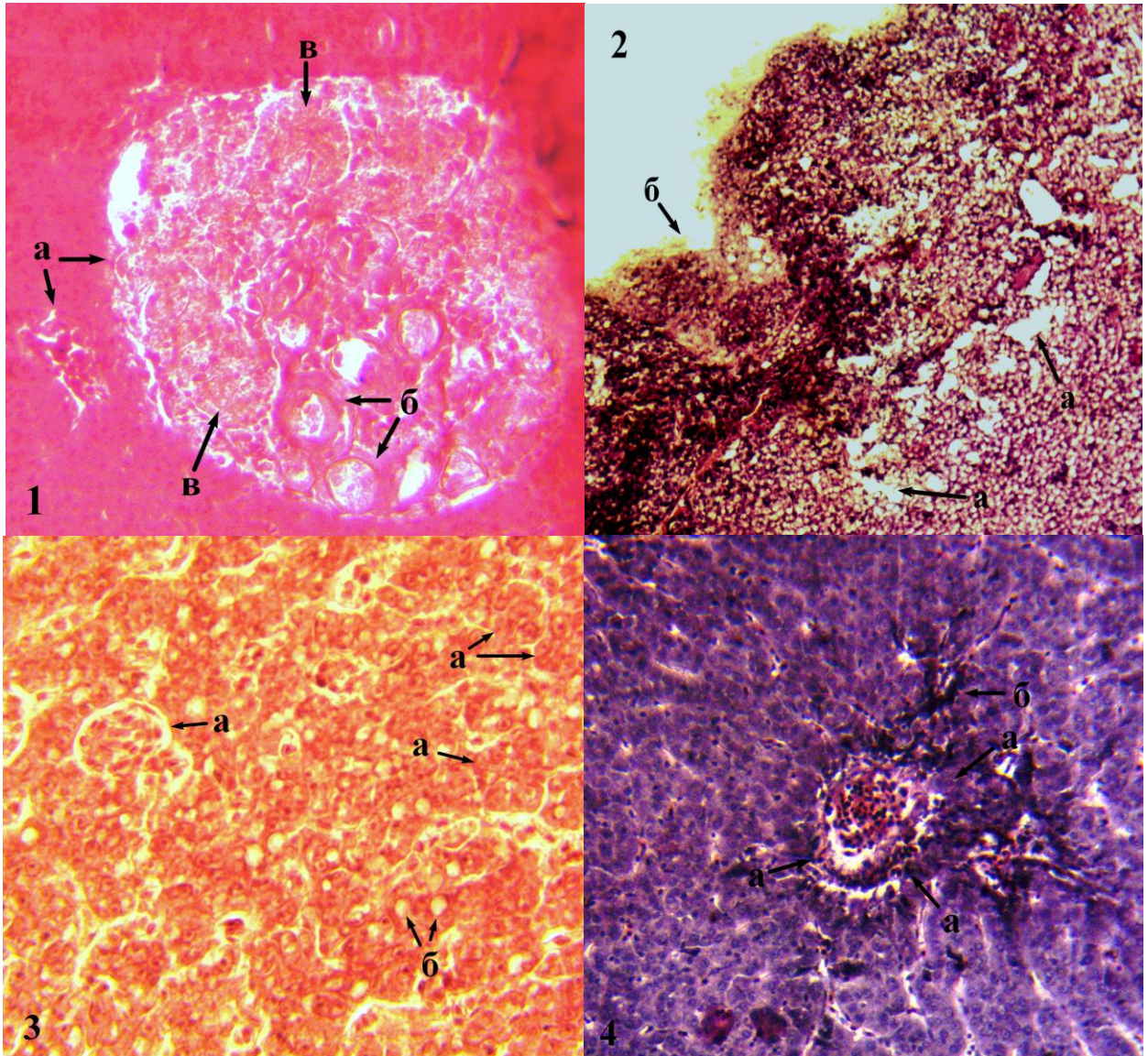
**6. Кистозные новообразования в печени** (рисунки 72.1а, 72.2б, 73.1б). Кистозные новообразования представляют собой аномальные полости в нормальной ткани печени, заполненные чужеродными тканями разного происхождения: соединительной тканью, паренхимой, жировой клетчаткой, либо сразу несколькими типами перечисленных тканей. Подобные кисты образуются, по-видимому, в процессе перерождения гепатоцитов являясь результатом соединительнотканых разрастаний их оболочки, а механизмы их появления являются результатом ухудшения общего физиологического состояния рыб.

**7. Соединительнотканые образования** (рисунок 71.4а) На фотоснимках и рисунках такие новообразования выглядят в виде скоплений волокон различной длины и окрашенных в темно-красный или темно-малиновый цвет. Подобные тканевые включения могут образовываться как в печеночной ткани, так и в образовавшихся кистах.

**8. Пигментированное образование в ткани органа** (рисунки 71.2б, 71.3а, 73.2а-б). В ткани печени присутствует, как правило, плотное новообразование, состоящее из гранул, окрашенных в более темный (рисунок 71.3а), чем окружающие ткани, или черный цвет (рисунок 73.2а). Размер и количество подобных новообразований в одном органе может варьировать. Данное образование имеет относительно оформленные границы.

**9. Деформация печеночных долек** (рисунок 72.3а). В норме печеночные дольки образованы несколькими ровными гепатоцитами и имеют округлую или гексагональную форму с кровеносным капилляром и желчным протоком внутри (рисунок 70.3).

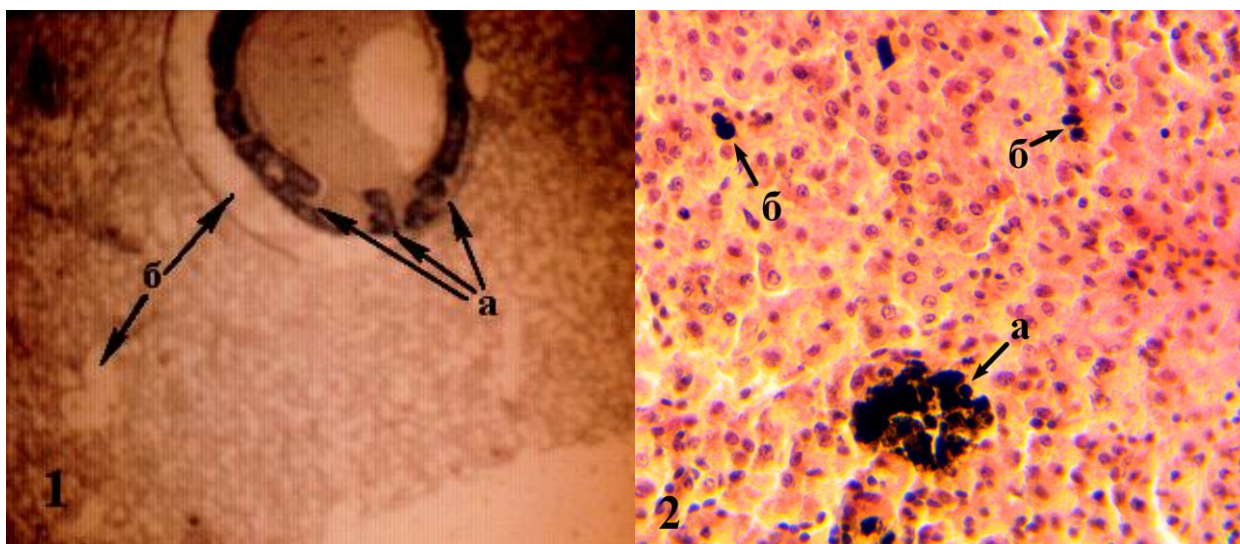




**Рисунок 72.** Гистопатологии печени у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – укляя, р. Ува ( $\times 200$ ), а – кистозное новообразование – полость в нормальной ткани печени заполненная: б – соединительнотканными волокнами, в – паренхимой; 2 – бычок-головач, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), на фоне общей вакуольной дистрофии гепатоцитов: а – крупные очаги дисплазии гепатоцитов, б – наружное кистозное новообразование; 3 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 100$ ), а – деформации печеночных долек, б – вакуолизация единичных гепатоцитов; 4 – плотва, р. Большой Черемшан ( $\times 100$ ), нарушение структуры кубического эпителия желчного протока, а – деформация, дегенерация и дисплазия кубических клеток, б – некроз окружающей ткани с пигментацией.

В случае патологии как гепатоциты, так и печеночные дольки деформированы и имеют неоднородную бесформенную структуру.

**10. Разрастание кубического эпителия желчных протоков** (рисунок 73.1a). В норме стенки желчного протока выстланы одним ровным слоем кубических клеток, окрашивающихся в темно-фиолетовый цвет и имеющих характерную кубическую или призматическую форму. В случае патологии клетки имеют неправильную форму (рисунок 73.1a) и выстилают желчный проток неравномерно (рисунок 72.4a). Клетки могут располагаться как в несколько слоев, что мы называем разрастанием, либо отсутствовать в местах характерной локализации.



**Рисунок 73.** Гистопатологии печени у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – участки разрастания, деформации и отсутствия клеток кубического эпителия в стенке желчного протока печени; б – кистозная полость вокруг желчного протока, заполненная паренхимой; 2 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), а – крупное новообразование, состоящее из сильнопигментированных клеток, б – мелкие пигментированные новообразования.

**11. Дисплазия клеток кубического эпителия желчного протока** (рисунок 72.4a). В результате негативных воздействий на печень и последовавших дегенеративных процессов, клетки кубического эпителия, выстилающего желчный проток, подвержены деформации и дисплазии, что



может вызывать некроз тканей печени вокруг желчного протока (рисунок 72.4б).

О высоком уровне токсической нагрузки на организм рыб из Саратовского водохранилища свидетельствует наибольшее разнообразие типов гистопатологий печени, обнаруженных у особей разных видов из данного водоема. В Саратовском водохранилище у рыб зафиксированы все одиннадцать типов гистопатологий, известные нам для водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги, некоторые из них являются явными признаками токсического отравления особей – вакуольная дистрофия, инфильтрация и дисплазия гепатоцитов. Значительна также доля особей в популяциях аборигенных и чужеродных видов рыб с отдельными, наиболее распространенными и массовыми типами тканевых печеночных патологий.

В популяциях отдельных видов рыб встречаемость особей с такими патологиями как дисплазия (некроз) гепатоцитов достигала 14,8 (лещ), 23,6 (бычок-головач), 52,5 (бычок-цуцик); с инфильтрацией клеток крови в ткани печени – 17,1 (лещ) и 21,4% (бычок-головач); с вакуольной дистрофией гепатоцитов – 17,5 (окунь), 34,8 (бычок-головач) и 67,2% (бычок-цуцик) (таблица 34). Все три этих типа гистопатологий стабильно обнаруживались у всех обследованных видов рыб Саратовского водохранилища и являлись наиболее тяжелыми для особей в силу необратимости дегенеративных клеточно-тканевых процессов.

Особи с другими восемью типами гистопатологий печени были обнаружены не среди всех обследованных видов рыб, однако, доля особей с отдельными типами нарушений в популяциях некоторых видов рыб была значительной.

Так встречаемость рыб с соединительнотканными новообразованиями в печени варьировала от 2,3% среди леща (редкая встречаемость) до 11,5% среди бычка-цуцика, тогда как среди плотвы особей с таким типом патологии не встречено за весь период исследования (таблица 34).

**Таблица 34.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий печени среди Саратовского водохранилища

Тип патологии печени	Встречаемость особей с различными типами патологий печени, %						
	плотва	лещ	окунь	бычок-кругляк	бычок-головач	бычок-цуцик	ротан-головешка
1. Вакуольная дистрофия гепатоцитов	1,2±1,16	7,9±2,90	17,5±4,82	21,7±4,20	34,8±5,08	67,2±6,06	8,0±2,58
2. Вакуолизация одиночных гепатоцитов	-	3,4±1,95	-	3,1±1,17	7,9±2,87	-	7,1±2,44
3. Инфильтрация клеток крови в ткань печ.	11,6±3,48	17,1±4,03	11,1±3,99	11,3±3,24	21,4±4,37	19,7±5,13	8,0±2,58
4. Дисплазия гепатоцитов	11,6±3,48	14,8±3,80	6,4±3,10	19,6±4,05	23,6±4,53	52,5±6,45	14,3±3,32
5. Липоидная дегенерация гепатоцитов	5,8±2,54	6,8±2,70	-	1,0±1,00	3,4±1,92	26,2±5,68	-
6. Кистозные новообразования	2,3±1,64	4,6±2,23	-	3,1±1,77	5,6±2,46	-	8,0±2,58
7. Соединительнотканые новообразования	-	2,3±1,60	12,7±4,23	9,3±2,96	7,9±2,87	11,5±4,12	6,3±2,30
8. Пигментированные новообразования	4,7±2,28	4,6±2,23	3,2±2,23	1,0±1,00	-	9,8±3,85	-
9. Деформация печеночных долек	-	2,3±1,60	-	-	-	-	-
10. Разраст. кубич. эпители. желчных протоков	-	-	-	3,1±1,77	2,3±1,58	-	9,8±2,82
11. Дисплазия кубич. эпители. желчных протоков	-	-	-	-	-	3,3±2,30	1,8±1,26

**Таблица 5.2.2.2.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий печени среди рыб из притоков Саратовского водохранилища

Тип патологии печени	Встречаемость особей с различными типами патологий печени, %				
	р. Самара		р. Съезжая		р. Большой Кинель
	плотва	бычок-кругляк	плотва	укля	плотва
1. Вакуольная дистрофия гепатоцитов	10,2±3,97	18,9±5,43	-	-	-
2. Вакуолизация одиночных гепатоцитов	-	1,9±1,89	-	-	-
3. Инфильтрация клеток крови в ткань печени	3,4±2,38	16,9±5,21	5,6±3,15	4,7±3,25	7,0±3,41
4. Дисплазия гепатоцитов	5,1±2,88	11,3±4,39	-	-	10,5±4,10
5. Липоидная дегенерация гепатоцитов	-	-	-	-	5,3±2,98

Такие типы патологий как деформация печеночных долек и дисплазия клеток кубического эпителия желчного протока были наиболее редки. Особи с данными нарушениями зафиксированы единично среди леща (деформация печеночных долек), бычка-цуцика и ротана-головешки (дисплазия кубического эпителия желчных протоков). В то же время в притоках Саратовского водохранилища у рыб обнаружено всего пять типов гистопатологий печени, среди которых лишь инфильтрация клеток крови встречалась во всех трех обследованных водоемах. Доля рыб с данным типом нарушения варьировала в популяциях от 3,4% среди плотвы из р. Самара до 16,9% у бычка-кругляка из р. Самара (таблица 35).

Наиболее массовым типом патологии печени оказалась вакуольная дистрофия гепатоцитов – 10,2% у плотвы и 18,9% среди бычка-кругляка, но такие особи вылавливались только в устьевом участке р. Самара, где уровень антропогенных загрязнений наиболее высок среди всех обследованных притоков Саратовского водохранилища.

У рыб Куйбышевского водохранилища разнообразие обнаруженных типов гистопатологий печени менее выражено, чем у рыб Саратовского водохранилища – обнаружено всего шесть их типов, однако, встречаемость особей с такими патологиями как вакуольная дистрофия, инфильтрация, дисплазия и липоидная дегенерация гепатоцитов так же высока. Эти четыре вида нарушений стабильно обнаруживались у четырех массовых видов рыб Куйбышевского водохранилища на протяжении всего периода исследования.

Так доля особей с вакуольной дистрофией гепатоцитов среди разных видов варьировала от 30,8% особей среди плотвы до 53,9% рыб в популяции бычка-кругляка, а дисплазия гепатоцитов обнаруживалась у 21,5% плотвы и 30,2% бычка-кругляка (таблица 36).

В обследованных притоках Куйбышевского водохранилища, как и в притоках Саратовского, обнаружено всего пять типов гистопатологий печени, встречаемость плотвы и уклей с данными типами патологий невелика во всех обследованных малых реках.

**Таблица 36.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий печени среди рыб Куйбышевского водохранилища

Тип патологии печени	Встречаемость особей с различными типами патологий печени, %			
	плотва	лещ	бычок-кругляк	бычок-головач
1. Вакуольная дистрофия гепатоцитов	30,8±5,77	33,8±5,66	53,9±6,33	50,9±6,68
2. Вакуолизация одиночных гепатоцитов	-	5,6±2,76	-	-
3. Инфильтрация клеток крови в ткань печени	6,2±3,00	11,3±3,78	17,5±4,82	12,3±4,39
4. Дисплазия гепатоцитов	21,5±5,14	23,9±5,10	30,2±5,83	24,6±5,75
5. Липоидная дегенерация гепатоцитов	9,2±3,62	15,5±4,32	33,3±5,99	29,8±6,11
10. Разрастание кубического эпителия желчных протоков	-	2,8±1,98	-	-

**Таблица 37.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий печени среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища с минимальным уровнем антропогенной нагрузки

Тип патологии печени	Встречаемость особей с различными типами патологий печени, %					
	р. Большой Черемшан		р. Ува		р. Нылга	
	плотва	укляя	плотва	укляя	плотва	укляя
2. Вакуолизация одиночных гепатоцитов	-	-	2,1±2,1	6,4±3,10	4,9±2,79	10,3±4,10
3. Инфильтрация клеток крови в ткань печени	5,9±2,92	-	-	1,6±1,59	3,3±2,30	-
4. Дисплазия гепатоцитов	5,9±2,92	16,2±6,14	6,3±3,53	4,8±2,70	1,6±1,64	5,3±2,98
5. Липоидная дегенерация гепатоцитов	2,9±2,10	-	12,5±4,82	3,2±2,23	-	-
10. Разрастание кубического эпителия желчных протоков	1,5±1,49	-	-	-	-	-



Наиболее распространенным типом гистопатологии в притоках Куйбышевского водохранилища была дисплазия гепатоцитов, особи с данным нарушением обнаружены в притоках с разным уровнем комплексного загрязнения (таблицы 37, 38). Встречаемость рыб с некрозом клеток печени достигла максимального значения у уклей из р. Б. Черемшан – 16,2% особей в популяции. Достаточно высока была доля рыб с липоидной дегенерацией гепатоцитов, в р. Позимь, загрязненной стоками г. Ижевска, доля таких рыб достигала 16,7% в популяции плотвы и 11,5% среди уклей (таблица 38), в популяции плотвы из р. Ува процент таких особей также был значителен – 12,5%.

**Таблица 38.** Встречаемость плотвы и уклей с различными типами гистопатологий печени среди рыб из р. Позимь - притока Куйбышевского водохранилища с высоким уровнем антропогенной нагрузки

Тип патологии печени	Встречаемость особей с различными типами патологий печени, %	
	плотва	уклея
1. Вакуольная дистрофия гепатоцитов	-	9,6±4,13
4. Дисплазия гепатоцитов	9,3±3,98	7,7±3,73
5. Липоидная дегенерация гепатоцитов	16,7±5,12	11,5±4,49
7. Соединительнотканые новообразования	5,6±3,15	5,8±3,27
8. Пигментированные новообразования	-	3,9±2,69
9. Деформация печеночных долек	-	5,8±3,27

Встречаемость особей с другими патологиями печени во всех четырех притоках Куйбышевского водохранилища была нерегулярной, а в некоторых случаях незначительной или единичной. Данный факт объясняется не только более низким уровнем загрязнения основных притоков обследованных водохранилищ, но и опосредованным характером влияния загрязняющих веществ (и других неблагоприятных факторов среды) на ткани печени и других внутренних органов.

### 5.2.3. Встречаемость особей с гистопатологиями гонад

Большой спектр загрязняющих веществ, попадающих в водоемы, наряду

с обще-токсичным воздействием на живые организмы оказывает влияние на процессы гаметогенеза, что приводит к нарушениям размножения и появлению нежизнеспособного потомства, снижает репродуктивный потенциал особей и ведет к подрыву рыбных запасов России (Лукьяненко, 1990; Павлов и др., 1994). Согласно большинству исследований патологии гонад не являются видоспецифичными и выявляются у рыб, принадлежащих различным систематическим группам. Степень устойчивости к токсикантам зависит от периода онтогенеза, так у половозрелых осетровых она ниже к ядам органического ряда в отличие от молоди, которая более чувствительна к ядам неорганической природы (Кокоза, 1970). Различные ксенобиотики вызывают повреждения гонад на ранних стадиях жизненного цикла в дозах, не приносящих вреда взрослым особям (Guillete et al., 1995).

Гаметогенез, и в частности оогенез, представляет собой важнейший период всего индивидуального развития организма. Именно в этот период происходит накопление и формирование запасных питательных веществ и морфогенетической информации, определяющей все последующее развитие организма. В гаметах накапливаются нуклеиновые кислоты, различные белки, определяются системы белкового синтеза, путем сложнейших редукционных делений созревания создаются моноплоидность хромосомного набора, а также ооплазматическая сегрегация – дифференциация различных участков ооплазмы, имеющих неодинаковое значение (Шарова и др., 2003).

Отклонения от нормы в развитии репродуктивной системы рыб могут быть использованы в качестве индикатора в определении степени благополучия существования различных их популяций (Акимова и др., 2004). В процессе морфологического исследования развития и функционирования репродуктивной системы различных видов рыб можно не только выявить начальные моменты неблагоприятного воздействия внешних факторов, но и определить характер и степень нарушений в их гонадо- и гаметогенезе, что позволяет оценить общий воспроизводительный потенциал популяций в определенное время и в конкретных условиях обитания этих видов (Акимова,

Рубан, 1996). Использование при этом традиционных гистологических методов исследования позволяет выявить различные нарушения в развитии половых клеток и желез, в том числе те, которые визуалью еще не прослеживаются (Акимова и др., 2004).

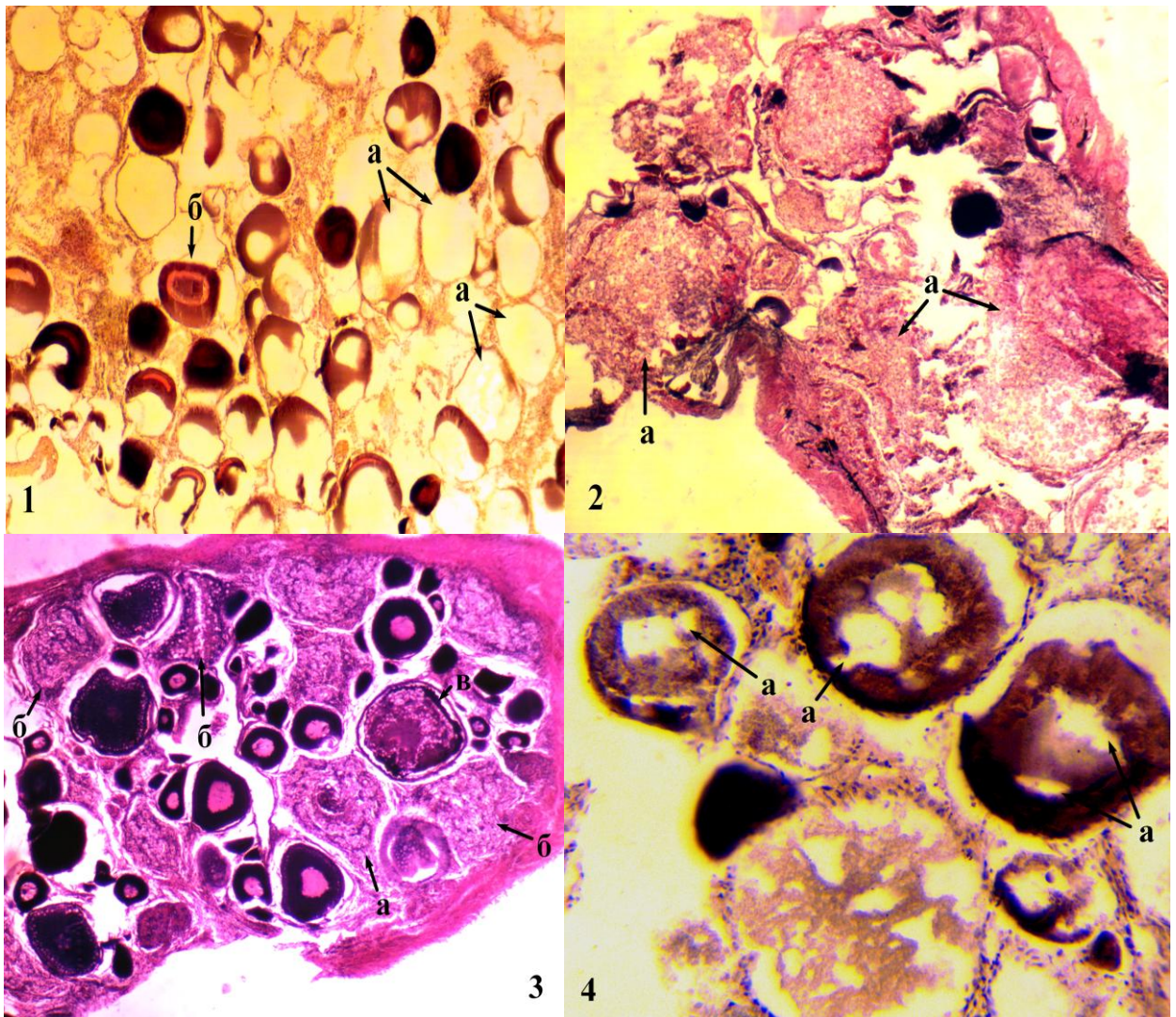
За весь период исследования у рыб из волжских водоемов нами было обнаружено семнадцать типов патологий гонад.

Описание большинства встреченных нами гистологических нарушений гонад приводятся в литературе (Шарова и др., 2003) для хозяйственно ценных и промысловых видов рыб, тогда как большинство изучаемых нами массовых видов рыб на предмет встречаемости подобных нарушений ранее не исследовались, так как не представляют хозяйственной ценности. Ниже мы приводим описание встреченных нами гистопатологий гонад у представителей обследованных видов рыб из волжских водоемов.

**1. и 2. Резорбция превителлогенных и вителлогенных ооцитов** (рисунки 74.1а, 74.2а).

Резорбция половых клеток у рыб может быть физиологически нормальным процессом, если наблюдается у отнерестившихся особей и при становлении конечной плодовитости, и патологическим – если происходит массовая резорбция половых клеток в период гаметогенеза (Фалеева, 1965; Макеева, 1992).

Достижение однородности ооцитов в процессе созревания осуществляется за счет резорбции сильно продвинувшихся в развитии половых клеток. В связи с этим резорбцию единичных ооцитов рассматривают как норму в гаметогенезе рыб (Кузьмин, Чуватова, 1975). Однако массовая резорбция ооцитов периодов превителлогенеза и вителлогенеза, по мнению многих исследователей, является реакцией системы воспроизводства самок на изменение качества водной среды и свидетельствует о нарушении условий размножения (Моисеева и др., 1997; Чеботарева и др., 1997; Акимова и др., 2000).



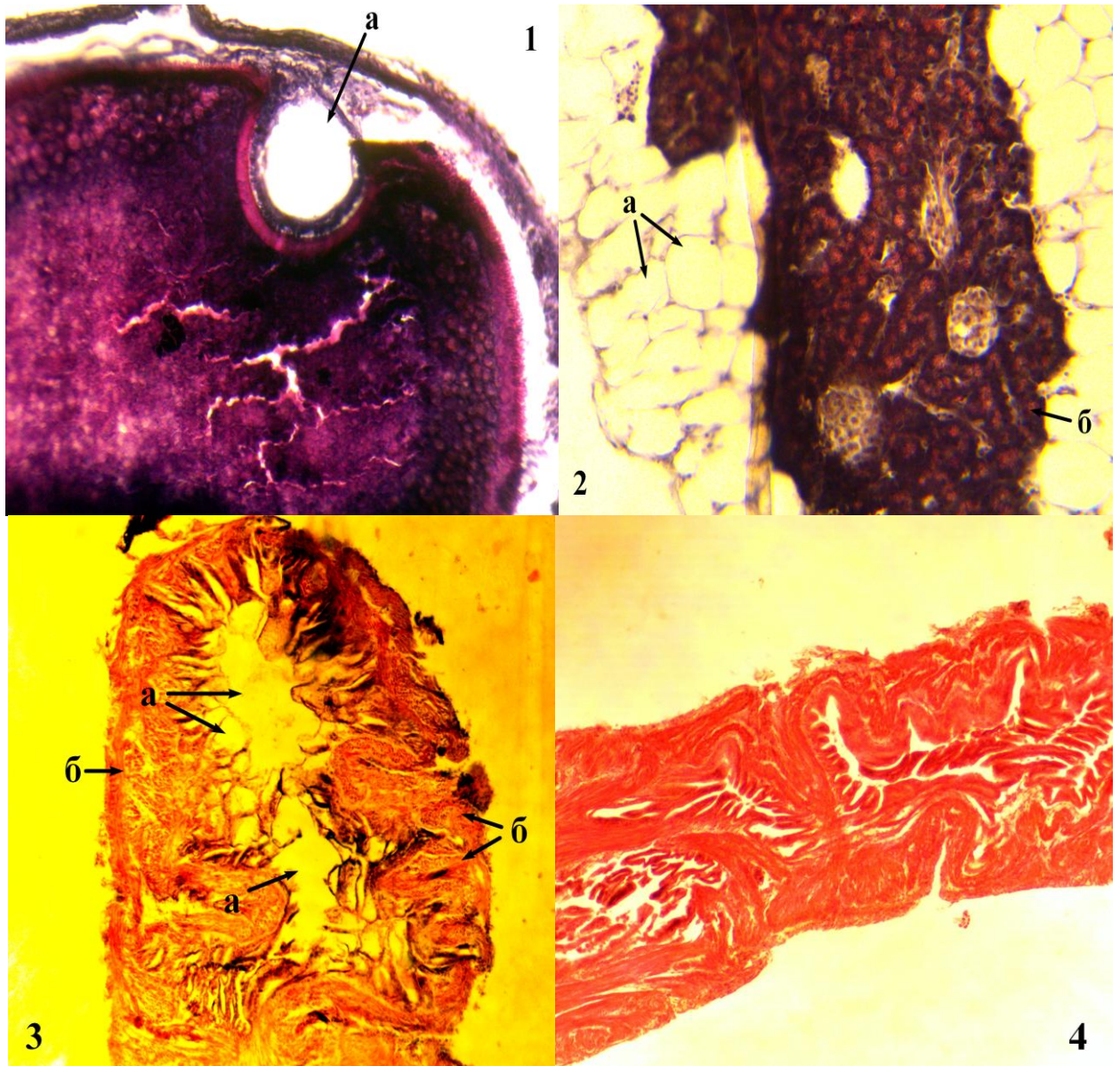
**Рисунок 74.** Гистопатологии гонад у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – плотва, р. Съезжая ( $\times 50$ ), резорбция превителлогенных ооцитов, а – превителлогенные ооциты в процессе резорбции, б – нормальный превителлогенный ооцит; 2 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), резорбция вителлогенных ооцитов: а – вителлогенные ооциты в процессе резорбции; 3 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), а – деформированный вителлогенный ооцит с остатками ядерного материала, б – деформированные вителлогенные ооциты с полным отсутствием ядра, в – нормальный вителлогенный ооцит; 4 – бычок-головач, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), а – вакуолизация превителлогенных ооцитов.

Таким образом, резорбция ооцитов может являться адаптационной реакцией воспроизводительной системы рыб на неблагоприятное состояние окружающей среды, направленной на сохранение энергетических ресурсов организма для последующих нерестовых периодов в благоприятных внешних условиях. Более ранними исследованиями установлено, что резорбция превителлогенных и вителлогенных ооцитов является наиболее частой реакцией воспроизводительной системы самок в ответ на действие различных типов токсикантов (Акимова, Рубан, 1992; Белова и др., 2001; Лукин, Шарова, 2002). Процесс резорбции ооцитов характеризуется изменением структуры оболочек ооцита, сопровождающимся истончением и появлением мелких вакуолей в студенистой оболочке, граничащей с фолликулярной (Акимова, Рубан, 1996). Впоследствии происходит разрушение оболочки ядра и, как следствие, смешивание кариоплазмы с ооплазмой, нарушается также структура желточных включений.

**3 и 4. Вакуолизация привителлогенных и вителлогенных ооцитов** (рисунки 74.4а, 75.1а). В данном случае наблюдается вакуолизация не только оболочек ооцита, как в случае, рассмотренном выше, но и присутствуют одна или несколько вакуолей разного размера в ооплазме половой клетки.

**5. Деформация вителлогенного ооцита** (рисунок 74.3а-б). Половая клетка вместо нормальной округлой формы (рисунок 74.3в) и оформленного округлого желточного ядра, расположенного в центре, имеет сморщенную либо сильно деформированную структуру. Желточное ядро в таком ооците также деформировано и имеет размеры меньше нормальных (рисунок 74.3а). Зачастую ядро деформированного ооцита полностью теряет свою структуру (рисунок 74.3б). В некоторых случаях деформация вителлогенных ооцитов предшествует их резорбции или является ее начальной стадией, однако, большинство деформированных клеток сохраняются до стадии выбоя (5+) икры. Возможно, это является одной из причин появления молоди рыб с морфологическими аномалиями, так как деформации икринки приводят к нарушениям процессов эмбриогенеза.





**Рисунок 75.** Гистопатологии гонад у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – плотва, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), а – вакуолизация вителлогенного ооцита; 2 – укляя, р. Большой Черемшан ( $\times 100$ ), липоидная дегенерация семенника: а – жировая клетчатка, заместившая нормальную генеративную ткань, б – фрагмент нормальной генеративной ткани, окруженный жировой клетчаткой; 3 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), яичник полностью стерилен за счет полного замещения генеративной ткани жировой клетчаткой, а – жировая клетчатка вместо генеративной ткани, б – разрастания соединительной ткани в стенках яичника; 4 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 50$ ), яичник полностью стерилен – отсутствует как генеративная, так и жировая ткань, стенки и внутренние полости яичника образованы соединительной тканью.

#### **6. Отсутствие ядра вителлогенного ооцита (рисунок 74.3б).**

Желточное ядро ооцита отсутствует изначально из-за нарушения процессов трофоплазматического роста на разных стадиях превителлогенеза и вителлогенеза, либо в результате деструкции желточного материала при деформации или дисплазии вителлогенного ооцита. Следует отличать данную патологию от такой картины гистологического препарата, когда микротомное сечение не затрагивает нормальное ядро ооцита.

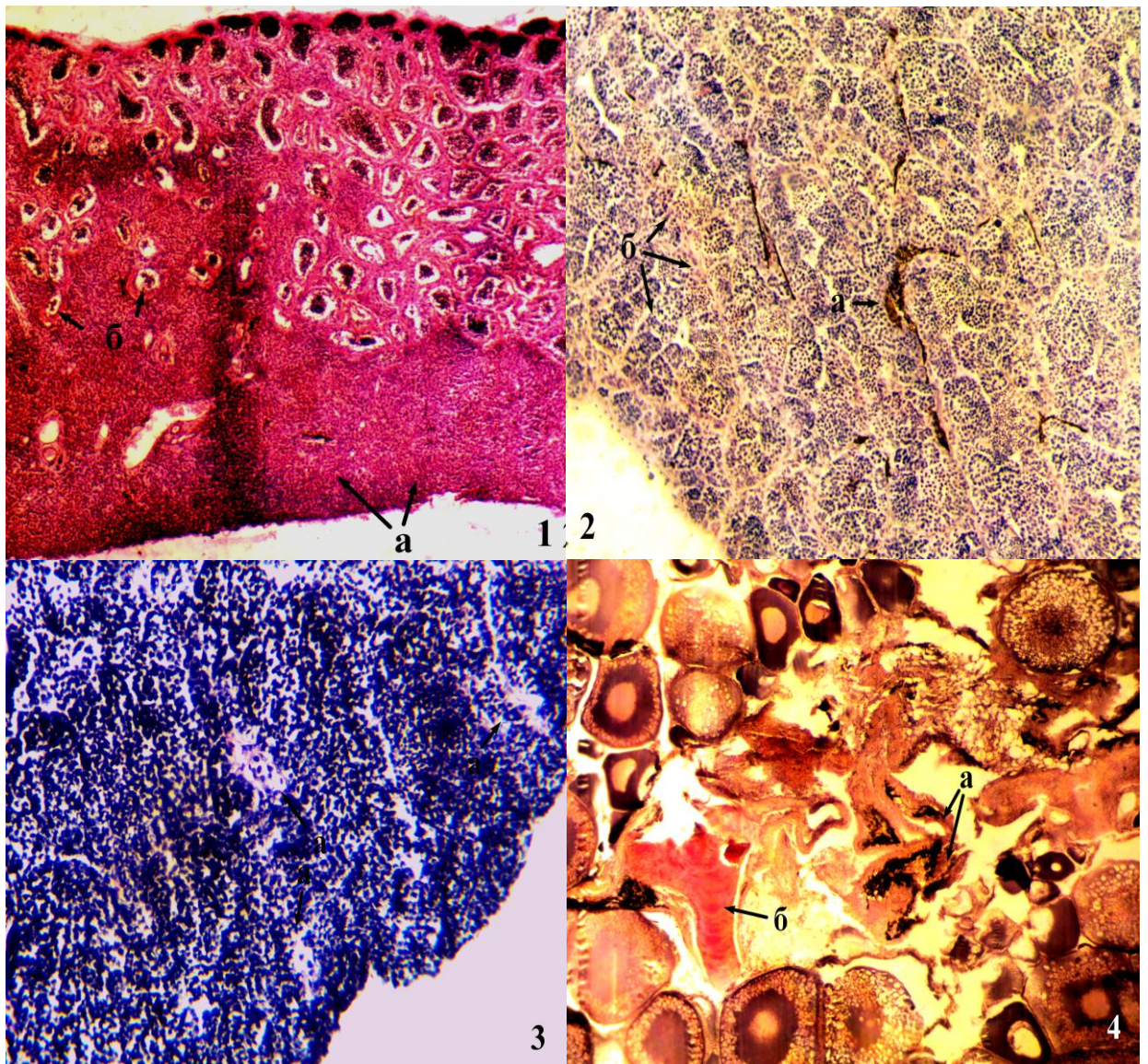
**7. Наличие двух ядер в одном ооците.** При данной патологии в одном ооците наблюдается два обособленных недоразвитых желточных ядра. Каждое такое ядро, как правило, сильно деформировано, имеет размеры меньше нормы и локализовано не в центре клетки, а в районе клеточной оболочки.

**8. Кистозные новообразования в гонадах (рисунок 77.1а).** По мнению Е. Б. Моисеевой с соавторами (1997), кисты являются видоизмененными яйценосными пластинками, полностью утратившими половые клетки, на что указывают отличия в строении обычных яйценосных пластинок и кист, а также дегенерация ооцитов в пластинках, непосредственно прилегающих к опухоли. Подобные кисты образуются, по-видимому, в процессе перерождения яйценосных пластинок, являясь результатом соединительнотканых разрастаний в яичнике, а механизмы их появления заключаются в ухудшении общего физиологического состояния рыб и снижении иммунной защиты в результате интоксикации (Романов, 1990).

На гистологическом препарате кистозные новообразования выглядят как полости в скоплениях нормальных ооцитов, заполненные беспорядочными разрастаниями соединительной ткани, паренхимой и тканевой жидкостью (рисунок 77.1а). Размер и количество таких образований в яичнике может значительно различаться.

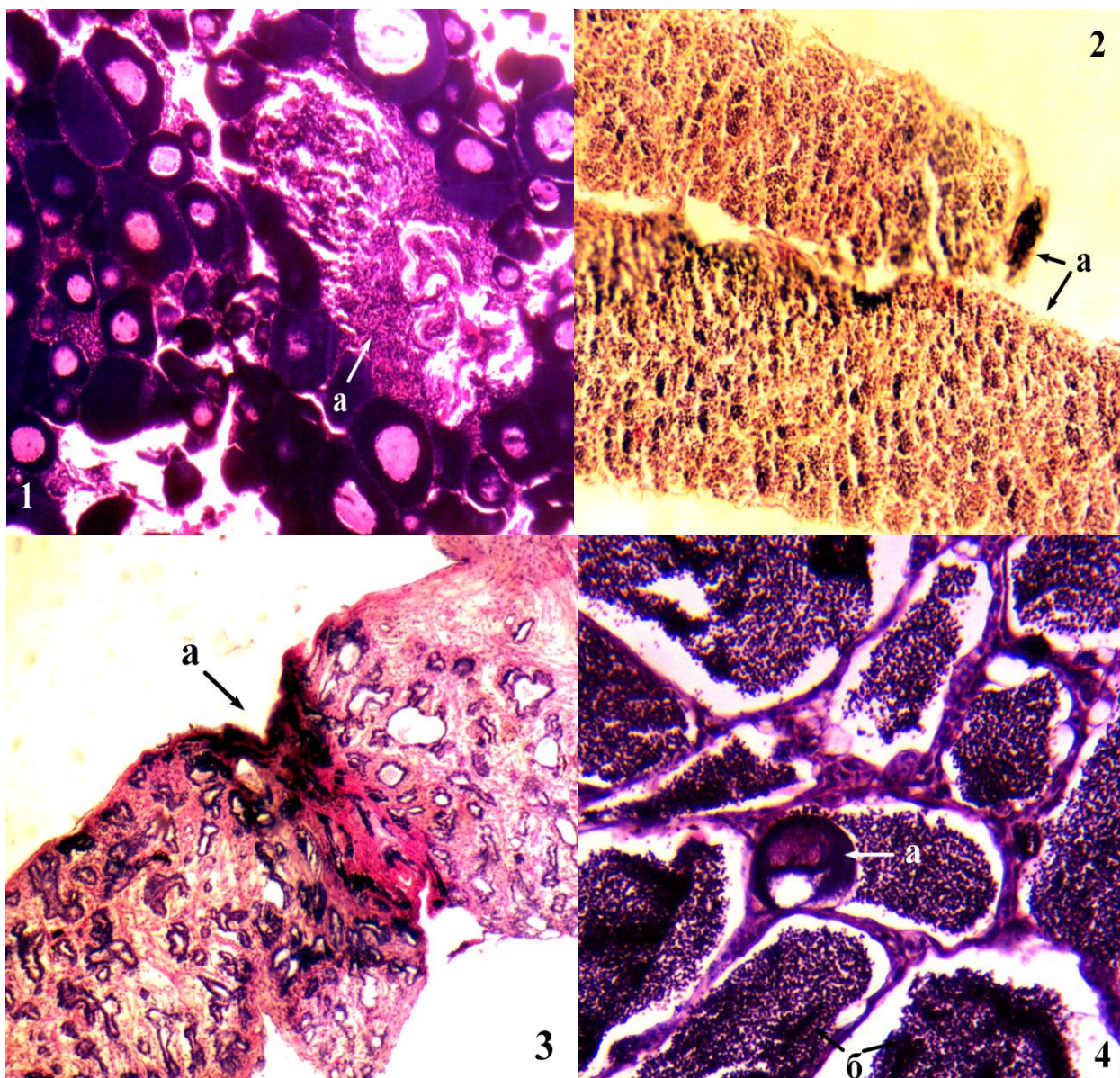
**9. Соединительнотканые новообразования в гонадах (рисунок 75.3б).**





**Рисунок 76.** Гистопатологии гонад у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – бычок-головач, Саратовское водохранилище ( $\times 50$ ), соединительнотканное перерождение семенника, а – обширный очаг соединительной ткани, б – недоразвитые семенные лакуны; 2 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – инфильтрация клеток крови в ткань семенника, б – фрагмент нормальной генеративной ткани семенника; 3 – лещ, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – очаги дисплазии генеративной ткани семенника, б – разрастания соединительной ткани в стенках яичника; 4 – плотва, р. Нылга ( $\times 100$ ), а – пигментированное новообразование в ткани яичника, б – соединительнотканное разрастание.





**Рисунок 77.** Гистопатологии гонад у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – укляя, р. Большой Черемшан ( $\times 100$ ), кистозное новообразование в яичнике, а – обширная полость в генеративной ткани заполненная соединительной тканью и паренхимой; 2 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 100$ ), а – раздвоение одного из двух семенников на две части; 3 – бычок-головач, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), поперечная деформация семенника: а – anomальная перетяжка сенника, образованная соединительной тканью; 4 – плотва, Саратовское водохранилище ( $\times 200$ ), признак гермафродитизма – наличие превителлогенного ооцита в нормально развитом семенном лакуне самца, а – превителлогенный ооцит, б – семенные пузырьки (лакуны), заполненные сперматозоидами.

На фотоснимках гистологических препаратов такие новообразования выглядят в виде скоплений волокон различной длины и окрашенных в красный или малиновый цвет. Подобные тканевые включения образуются, по-видимому, в процессе аномального преобразования яйценосных пластинок, как и в случае с кистозными новообразованиями. Данный тип гистопатологии обычен как в яичниках (рисунок 75.4б), так и в семенниках (рисунок 76.1а) обследованных особей. В редких случаях соединительнотканное разрастание оболочки яичника и полное замещение генеративной ткани на соединительнотканное волокна приводит к полной стерилизации гонады (рисунок 75.4). Намного чаще встречается частичное или очаговое соединительнотканное разрастание в яичнике (рисунок 75.3б) или семеннике (рисунок 77.1а), приводящее к дегенерации окружающих генеративных тканей (рисунок 77.1б).

**10. Опухолевидные пигментированные новообразования в гонадах** (рисунок 76.4а). К патологиям данного вида можно было бы отнести как кистозные новообразования, так и соединительнотканное, но мы выделили их в отдельные группы. В нашем случае в данную группу мы отнесли патологию, представляющую собой очаг перерождения ткани внутри нормального по всем остальным параметрам яичника. Такие перерождения ткани в основном характерны для рыб, ведущих придонный образ жизни в загрязненных водоемах (Hinton, 1989; Gardner et al., 1989), каковыми и являются бычок-кругляк и ротан-головешка. Показано также, что наиболее активными канцерогенными факторами, способствующими возникновению опухолей, являются углеводороды, особенно из группы антрацена и бензопирена (Леви, 1971; Пауков, Хитров, 1999). Подобное новообразование кроме волокон соединительной ткани, жировой клетчатки и паренхимы содержит сильнопигментированные меланином новообразования (рисунок 76.4а), вызывающие дегенерацию и дисплазию окружающих тканей.

**11. Липоидная дегенерация гонад** (рисунок 75). Липоидная дегенерация появляется в результате нарушения липидного обмена, так как

известно, что у рыб из зон интенсивного загрязнения обнаруживается более высокое содержание общих липидов в различных органах и тканях (Лукьяненко, 1987; Савваитова и др., 1995а,б). Одной из причин дегенеративного ожирения является повреждение, вызванное воздействием токсинов, из которых наиболее сильнодействующими являются соединения мышьяка и фосфора (Кокуричева, 1976). Подобный эффект может объясняться способностью данных соединений изменять скорость окислительных процессов в организме, влияющих на утилизацию жира (Шарова и др., 2003). В наших случаях липоидная дегенерация гонад встречается как у самцов (рисунок 75.2а), так и у самок (рисунок 75.3а), и выражается в частичном замещении генеративной ткани на жировую, либо, в отдельных случаях, в полном отсутствии половых клеток, на месте которых развилась жировая клетчатка.

12. **Дисплазия тканей гонады** (рисунок 76.3а). Данный тип патологии выражается в частичном или полном некрозе скоплений половых клеток и окружающих их тканей. При этом образуются полости, заполненные продуктами дисплазии клеток и межклеточной жидкостью, количество и размер которых может значительно варьировать. Как правило, дисплазия тканей гонады имеет очаговый характер и является следствием серьезной интоксикации всего организма.

13. **Стерильная гонада** (рисунок 75.3). Стерильные гонады встречены нами у самцов и самок рыб единично. Стерильность гонады является, как правило, следствием самых глубоких нарушений половой системы. При этом отмечается мощное развитие стромы в яичнике или семеннике и большое количество соединительнотканых элементов и жировой клетчатки, среди которых могут размещаться фрагменты нормальной генеративной ткани (рисунок 75.2б). Конечная стадия данного процесса выглядит как полное замещение генеративной ткани стромой и функциональная атрофия гонады (Шарова и др., 2003). В редких случаях генеративная ткань полностью отсутствует и замещена соединительной тканью гонады (рисунок 75.4).

**14. Инфильтрация клеток крови в генеративную ткань семенника** (рисунок 76.1а). В результате разрушения (дисплазии) стенок капилляров и других кровеносных сосудов, пронизывающих генеративную ткань семенника, клетки крови попадают в пространство между семенными лакунами и образуют скопления темного цвета, вызывая, зачастую, некроз окружающих тканей. Данная гистопатология является одним из начальных признаков воспалительного процесса и общего неблагополучия особи.

**15. Наличие превителлогенного ооцита в генеративной ткани семенника** (рисунок 77.4а). Присутствие женских половых клеток в мужской половой гонаде является признаком гермафродитизма. Однако в нашем случае обнаружен всего один превителлогенный ооцит в одном из семенных пузырьков нормально развитого по всем остальным показателям семенника. Генеративная ткань второго семенника по всем показателям также соответствовала норме. Вследствие этого утверждать о гермафродитизме обследованной особи не вполне корректно. Подобное нарушение, на наш взгляд, явилось следствием единичной ошибки дифференциации синцитиальных клеток ювенальной гонады, что может быть вызвано как генетическим нарушением, так и итогом внешних неблагоприятных воздействий. Данная патология зафиксирована единично за весь период исследования у самца плотвы из Саратовского водохранилища (таблица 39).

**16. Поперечная перетяжка семенника** (рисунок 77.3а). Один из семенников имеет поперечную перетяжку образованную волокнами соединительной ткани, что привело к значительной внешней деформации гонады и деформации генеративной ткани в области данной патологии. При этом большая часть семенных пузырьков сильно деформирована, недоразвита и разрознена в строме. В тоже время второй семенник имеет нормальную форму и структуру. Данная гистопатология обнаружена единично за весь период исследования у бычка-головача Саратовского водохранилища.

**17. Продольное раздвоение одного из семенников на две части** (рисунок 77.2а). Данная гистопатология встречена нами единично у бычка-кругляка из устьевого участка р. Самара, который находится в зоне подтопления Саратовского водохранилища (таблица 40). Один из семенников имеет продольную перетяжку из соединительной ткани, которая разделяет его на две части разного размера. При этом генеративная ткань раздвоенной гонады не имеет существенных гистологических нарушений. Во втором семеннике никаких морфологических и гистологических отклонений от нормы не выявлено.

Наибольшее разнообразие обнаруженных типов гистопатологий гонад обнаружено у рыб Саратовского водохранилища – 16 типов из 17, однако только три типа гистопатологий – резорбция превителлогенных и вителлогенных ооцитов и кистозные новообразования обнаружены у всех обследованных видов рыб из данного водоема.

Встречаемость особей с резорбцией превителлогенных ооцитов среди рыб Саратовского водохранилища варьировала от 4,7 (плотва) до 21,5% (бычок-головач), с резорбцией вителлогенных ооцитов – от 4,6 (плотва) до 17,9% (бычок-головач), с кистозными новообразованиями в гонадах – от 3,5 (плотва) до 11,3% (бычок-кругляк) (таблица 39).

Липоидная дегенерация гонад также была одной из самых распространенных гистопатологий в Саратовском водохранилище. Несмотря на отсутствие особей с данным типом патологии среди бычка-головача и бычка-цуцика, встречаемость особей с кистозными новообразованиями была максимальной среди ротана-головешки – 24,1%, среди окуня достигала 11,1% при минимальной встречаемости среди леща - 3,4% (таблица 39).

Особи с остальными двенадцатью типами гистопатологий гонад среди обследованных видов рыб Саратовского водохранилища обнаруживались нерегулярно, редко или единично за весь период исследования.



**Таблица 39.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий гонад среди рыб Саратовского водохранилища

Тип патологии гонад	Встречаемость особей с различными типами патологий гонад, %						
	плотва	лещ	окунь	бычок-кругляк	бычок-головач	бычок-цуцик	ротан-головешка
1. Резорбция превителлогенных ооцитов	4,7±2,28	7,9±2,90	12,7±4,23	9,3±2,96	21,4±4,37	14,8±4,58	7,1±2,44
2. Резорбция вителлогенных ооцитов	4,7±2,28	6,8±2,70	17,5±4,82	13,4±3,48	17,9±4,09	9,8±3,85	6,3±2,30
3. Вакуолизация превителлогенных ооцитов	-	-	-	2,1±1,44	2,3±1,58	-	4,5±1,96
4. Вакуолизация вителлогенных ооцитов	2,3±1,64	2,3±1,60	-	1,0±1,00	-	-	0,9±0,89
5. Деформация вителлогенного ооцита	-	2,3±1,60	-	1,0±1,00	-	-	-
6. Отсутствие ядра вителлогенного ооцита	-	-	-	1,0±1,00	-	-	-
7. Два ядра в одном ооците	1,2±1,20	1,1±1,10	-	-	-	-	-
8. Кистозные новообразования	3,5±1,99	4,6±2,23	6,4±3,10	11,3±3,24	7,9±2,87	4,9±2,79	6,3±2,30
9. Соединительнотканые разрастания	1,2±1,20	1,1±1,10	-	13,4±3,48	6,7±2,67	-	8,0±2,58
10. Пигментированное новообразование	1,2±1,20	-	-	-	3,4±1,92	-	-
11. Липоидная дегенерация гонад	3,5±1,99	3,4±1,95	11,1±3,99	9,3±2,96	-	-	24,1±4,06
12. Дисплазия тканей гонады	-	-	-	2,1±1,44	-	-	-
13. Стерильная гонада	-	-	-	4,1±2,03	1,1±1,10	-	-
14. Инфильтрация семенных канальцев	-	-	-	-	1,1±1,10	6,6±3,19	-
15. Наличие ооцита в ткани семенника	1,2±1,20	-	-	-	-	-	-
16. Поперечная перетяжка семенника	-	-	-	-	1,1±1,10	-	-

**Таблица 40.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий гонад среди рыб из притоков Саратовского водохранилища

Тип патологии гонад	Встречаемость особей с различными типами патологий гонад, %				
	р. Самара		р. Съезжая		р. Большой Кинель
	плотва	бычок-кругляк	плотва	уклея	плотва
1. Резорбция превителлогенных ооцитов	1,7±1,69	-	3,7±2,58	2,3±2,30	-
2. Резорбция вителлогенных ооцитов	-	7,6±3,66	-	-	-
9. Соединительнотканые разрастания	-	-	-	-	3,5±2,46
11. Липоидная дегенерация гонад	5,1±2,88	5,7±3,20	-	-	3,5±2,46
17. Продольное раздвоение одного из двух семенников	-	1,9±1,89	-	-	-

Так отсутствие ядра вителлогенного ооцита зафиксировано единично у бычка-кругляка (1,0%), двух ядерный ооцит обнаружен единично у плотвы (1,2%) и леща (1,1%), ооцит в семеннике – у единственной особи плотвы (1,2%), а поперечная перетяжка семенника – у одной особи бычка-головача (1,1%) (таблица 39).

В то же время в притоках Саратовского водохранилища у рыб обнаружено всего пять типов гистопатологий гонад, среди которых ни один тип аномалии не встречен во всех трех обследованных водоемах. Встречаемость особи со всеми обнаруженными патологиями в притоках Саратовского водохранилища была минимальной. Так в р. Съезжая среди рыб обнаружены особи только с резорбцией превителлогенных ооцитов – 2 особи среди плотвы (3,7%) и 1 особь среди уклей (2,3%). Наибольшее разнообразие гистопатологий гонад (4 из 5 типов) обнаружено в устьевом участке р. Самара, где уровень антропогенных загрязнений наиболее высок среди всех обследованных притоков Саратовского водохранилища, однако встречаемость особей с самой массовой патологией – резорбцией вителлогенных ооцитов не превышала 7,6% (4 особи) среди бычка-кругляка (таблица 40). В то же время среди рыб из притоков Саратовского водохранилища не обнаружено особей с такими тяжелейшими гистопатологиями как дисплазия тканей гонады, стерильная гонада, кистозные и пигментированные новообразования в ткани гонады, что свидетельствует о более низком уровне загрязнения притоков, чем самого водохранилища.

У рыб Куйбышевского водохранилища разнообразие обнаруженных типов гистопатологий гонад менее выражено, чем у рыб Саратовского водохранилища – обнаружено всего пять типов гистопатологий, однако, встречаемость особей с такой патологией как резорбция вителлогенных ооцитов так же высока – от 9,5% особей среди бычка-кругляка до 19,7% среди леща (таблица 41).

Три вида гистопатологий гонад стабильно обнаруживались у всех четырех массовых видов рыб Куйбышевского водохранилища на протяжении всего периода исследования – резорбция превителлогенных и вителлогенных ооцитов и липоидная дегенерация гонад. Однако встречаемость рыб с данными патологиями была ниже, чем в Саратовском водохранилище: доля особей с резорбцией превителлогенных ооцитов не превышала 9,9% (среди бычка-кругляка), с липоидной дегенерацией гонад не выше 8,8% (среди бычка-головача) (таблица 41).

В обследованных притоках Куйбышевского водохранилища, как и в притоках Саратовского, обнаружено всего пять типов гистопатологий гонад, встречаемость рыб с данными типами патологий невелика в двух обследованных малых реках – р. Б. Черемшан и р. Ува. У рыб из р. Нылга и среди уклей из р. Ува особей с гистопатологиями гонад не встречено за весь период исследования (таблица 42).

Доля рыб с резорбцией превителлогенных ооцитов не превышала 8,3% среди плотвы из р. Ува, а встречаемость особей с липоидной дегенерацией гонад была максимальной среди уклей из р. Б. Черемшан – 8,1% (таблица 42). Встречаемость рыб с остальными обнаруженными гистопатологиями гонад была минимальной либо единичной.

В р. Позимь – притоке Куйбышевского водохранилища, характеризующимся наиболее высоким уровнем антропогенной нагрузки, разнообразие обнаруженных типов гистопатологий гонад превышает таковое в самом водохранилище и в его слабозагрязненных притоках. Однако встречаемость особей с большинством обнаруженных патологий минимальна или единична как среди плотвы, так и среди уклей.

Наиболее распространенным типом патологии оказалась резорбция вителлогенных ооцитов. Как и в самом Куйбышевском водохранилище, среди уклей из р. Позимь встречаемость таких особей достигала 11,5% (таблица 43), тогда как среди плотвы таких рыб не встречено.



**Таблица 41.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий гонад среди рыб Куйбышевского водохранилища

Тип патологии гонад	Встречаемость особей с различными типами патологий гонад, %			
	плотва	лещ	бычок-кругляк	бычок-головач
1. Резорбция превителлогенных ооцитов	6,2±3,00	9,7±3,56	4,8±2,70	3,5±2,46
2. Резорбция вителлогенных ооцитов	18,5±4,85	19,7±4,76	9,5±3,73	10,5±4,10
4. Вакуолизация вителлогенных ооцитов	1,5±1,50	2,8±1,98	-	-
8. Кистозные новообразования	-	4,2±2,39	6,4±3,09	3,5±2,46
11. Липоидная дегенерация гонад	4,6±2,62	7,0±3,06	7,9±3,43	8,8±3,78

**Таблица 42.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий гонад среди рыб из притоков Куйбышевского водохранилища с минимальным уровнем антропогенной нагрузки

Тип патологии гонад	Встречаемость особей с различными типами патологий гонад, %					
	р. Большой Черемшан		р. Ува		р. Нылга	
	плотва	укляя	плотва	укляя	плотва	укляя
1. Резорбция превителлогенных ооцитов	-	-	8,3±4,03	-	-	-
2. Резорбция вителлогенных ооцитов	-	5,4±3,77	-	-	-	-
8. Кистозные новообразования	2,9±2,10	-	2,1±2,08	-	-	-
9. Соединительнотканые разрастания	4,5±2,55	-	-	-	-	-
11. Липоидная дегенерация гонад	2,9±2,10	8,1±4,55	-	-	-	-

**Таблица 43.** Встречаемость плотвы и уклей с различными типами гистопатологий гонад среди рыб из р. Позимь - притока Куйбышевского водохранилища с высоким уровнем антропогенной нагрузки

Тип патологии гонад	Встречаемость особей с различными типами патологий гонад, %	
	плотва	уклея
1. Резорбция превителлогенных ооцитов	-	3,9±2,69
2. Резорбция вителлогенных ооцитов	-	11,5±4,49
5. Деформация вителлогенного ооцита	-	1,9±1,90
8. Кистозные новообразования	3,7±2,59	-
9. Соединительнотканые разрастания	5,6±3,15	3,9±2,69
11. Липоидная дегенерация гонад	-	5,8±3,27

Таким образом, как и в случае с тканевыми патологиями жабр и печени, выявлена прямая зависимость разнообразия обнаруживаемых у рыб типов гистопатологий гонад от уровня воздействия комплексного загрязнения водоемов и водотоков. Чем сильнее пресс негативных факторов среды на рыб, тем более выражено разнообразие обнаруживаемых гистопатологий гонад и тем выше в популяциях отдельных видов рыб доля особей с тем или иным типом патологии. Однако встречаемость наиболее массовых типов патологий гонад, как и в случае с патологиями других внутренних органов, не зависит от видовой принадлежности особей, что является доказательством неспецифичности данных нарушений.

#### **5.2.4. Встречаемость особей с гистопатологиями миокарда**

Некоторые исследования мышечной ткани рыб, обитающих в водоемах с сильными токсикологическими загрязнениями, выявили патологические изменения всех типов скелетной мускулатуры (Евгеньева, 2003). Дегенеративные изменения белых мышц скелетной мускулатуры начинаются с лизиса миофибриллярного аппарата мышечных волокон, причем вначале затрагивается лишь часть миофибрилл, что приводит к изменению сократительной способности волокна (Там же). Затем следует разрушение обширных участков мышечного волокна по его длине, включая саркоплазматический ретикулум, митохондрии и Т-систему. Сарколема

мышечных волокон белых скелетных мышц дегенерирует в последнюю очередь, вызывая их необратимую гибель (Там же). Морфологически процессы, происходящие в мышцах при интоксикации, аналогичны процессам вызывающим истощение мышц в результате голодания, зимовки или нереста, когда белковый дефицит организма покрывается за счет белков собственной мышечной ткани (Там же). Однако, у рыб, обитающих в чистых водоемах, после выхода из голодания происходит восстановление мышечных белков и регенерация структур мышечных волокон, а при воздействии токсикологических факторов регенерации не происходит, дегенеративные процессы необратимо нарастают, что снижает плавательную способность рыб и может привести к их гибели (Там же).

Красные мышечные волокна разрушаются мононуклеарными клетками (лимфоцитами и макрофагами), которые активно мигрируют из мелких кровеносных и лимфатических сосудов, проникают между миоцитами, прикрепляются в сарколемме и лизируют сначала клеточную оболочку, а потом и все волокно (Там же). Таким образом, развитие дегенеративных процессов в красных мышцах осуществляется по типу аутоиммунных реакций и вызвано (как показано соответствующими исследованиями) резкими изменениями гематологических показателей у рыб, обитающих в водоемах с большим содержанием токсикантов (Евгеньева, 2004). Деструктивные процессы в миокарде и кардиоцитах развиваются аналогичным образом.

Гистологические патологии миокарда не являются прямым следствием воздействия неблагоприятных факторов среды на организм, как, например, патологии жабр и печени. Возможно, наличие подобных нарушений в тканевых структурах сердца это результат общего физиологического состояния организма рыбы, которое в силу ряда факторов (интоксикации, истощения, стресса и т.п.) может не соответствовать норме. Тем не менее, сам факт обнаружения таких патологий в ткани органа который является, на наш взгляд, наиболее физиологически защищенным от неблагоприятных

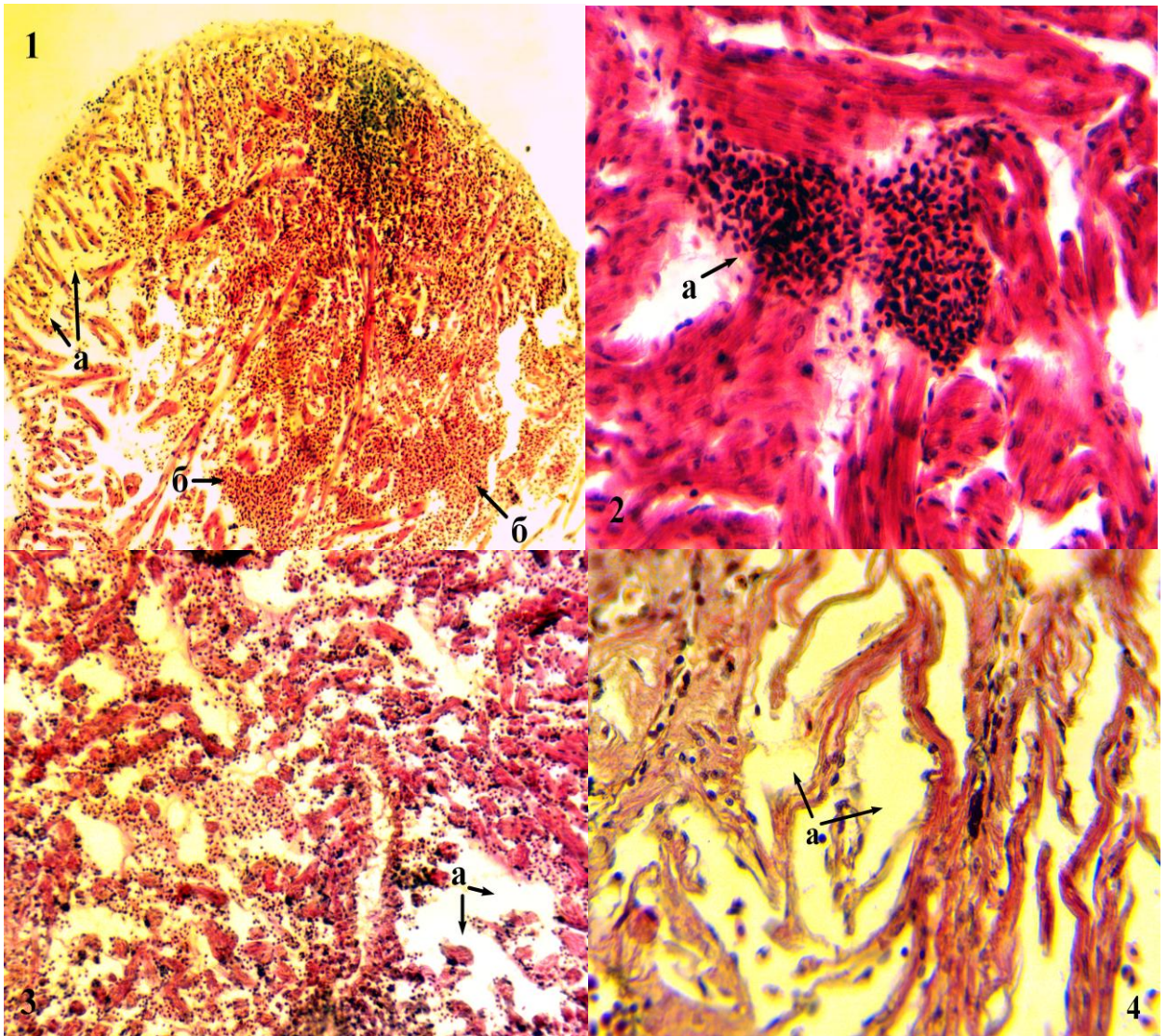
внешних воздействий и не связан напрямую функционально с детоксикацией организма, свидетельствует о хроническом воздействии окружающих неблагоприятных факторов среды на организм.

У обследованных рыб разных видов из исследованных волжских водоемов нами обнаружено семь типов гистопатологий миокарда, которые не являются специфическими для данной ткани, так как зафиксированы нами и в других внутренних органах – жабрах, печени и гонадах.

1. **Дистрофия волокон миокарда – миофибрилл** (рисунки 78.1а, 78.3). При данной патологии волокна миокарда имеют рыхлую структуру и часто бывают искривлены, тогда как здоровые мышечные волокна локализуются в виде плотных пучков и тяжей, образуя определенные специфические анатомические структуры (рисунок 79.4). Подобные нарушения могут быть локализованы в миокарде в виде очагов различной величины, либо охватывать обширные области сердца.

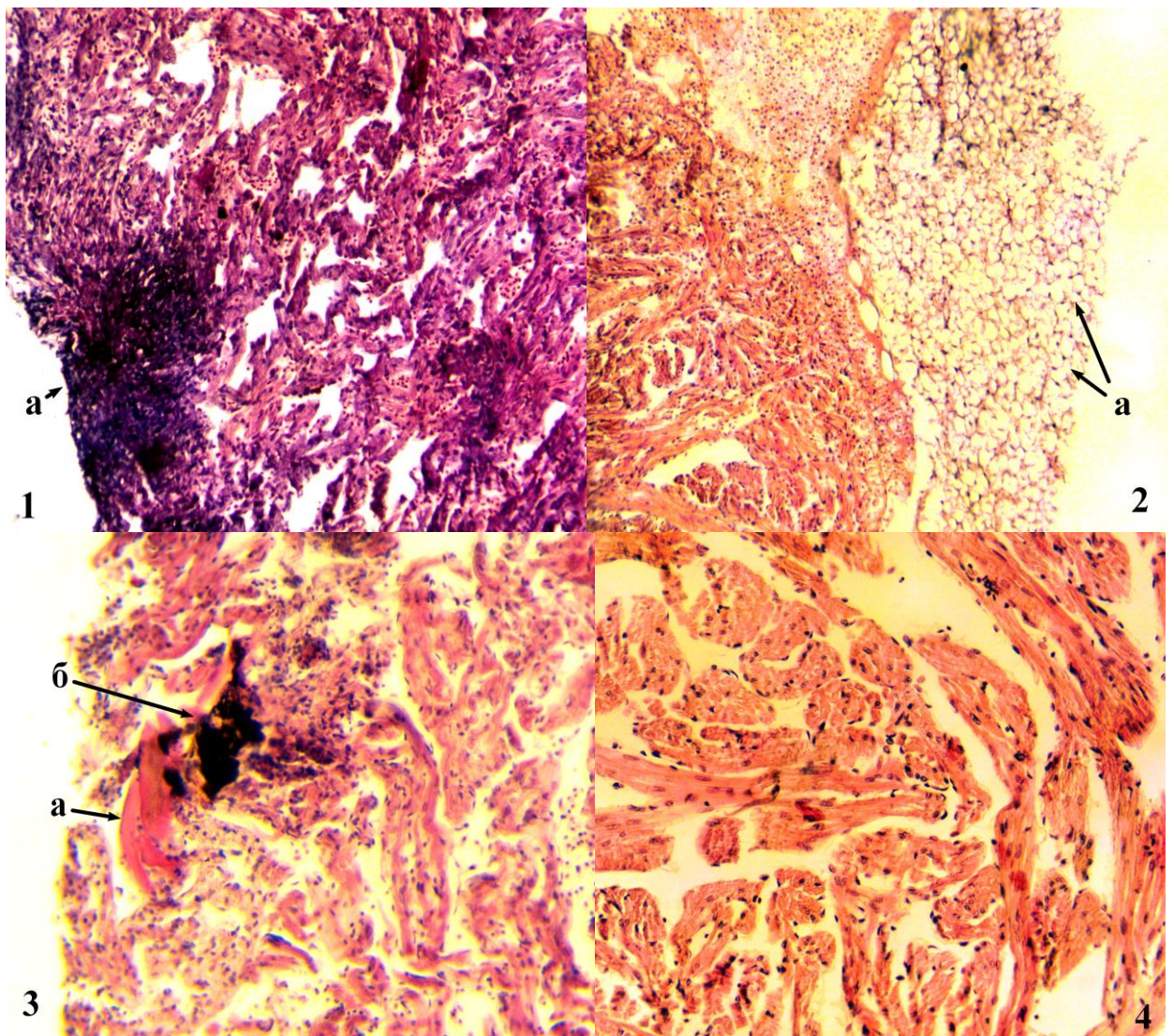
2. **Липоидная дегенерация ткани миокарда** (рисунок 79.2а). В результате нарушения процессов липидного обмена, которые часто вызываются у рыб из загрязненных водоемов, в тканях миокарда образуются очаги жировой клетчатки разного размера, формы и характера локализации. Клетки жировой ткани, в зависимости от продолжительности и интенсивности патологического процесса, могут располагаться между дистрофированных миофибрилл в виде небольших разрозненных участков либо образуют крупные обособленные участки.

3. **Дисплазия миофибрилл** (рисунок 79.1а). Как и в случае с некрозом других тканей и органов, дисплазия миофибрилл заключается в разрушении клеточной и тканевой структуры. В зависимости от степени негативных воздействий очаги некроза миокарда могут иметь локализованный характер и небольшие размеры, либо быть достаточно обширными и сопровождаться инфильтрацией клеток крови или повышенной пигментацией.



**Рисунок 78.** Гистопатологии миокарда у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – плотва, Саратовское водохранилище (×50), общая дистрофия миокарда, а – дистрофированные (недоразвитые) миофибриллы, б – обширные очаги инфильтрации клеток крови; 2 – бычок-кругляк, Саратовское водохранилище (×200), а – локальный очаг инфильтрации клеток крови между миофибрилл миокарда; 3 – укляя, р. Съезжая (×100), а – полости или разрывы миокарда на фоне дистрофии миофибрилл; 4 – плотва, Саратовское водохранилище (×200), а – полости в миокарде, образованные в результате расслоения миофибрилл.





**Рисунок 79.** Гистопатологии миокарда у рыб волжских водоемов (окрашивание гематоксилином Вейнгарта и эозином): 1 – лещ, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – очаг дисплазии (некроза) миофибрилл; 2 – бычок-кругляк, р. Самара ( $\times 100$ ), а – очаг липоидной дегенерации миофибрилл миокарда; 3 – бычок-цуцик, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), а – разрастание соединительной ткани, б – пигментированное новообразование; 4 – плотва, Саратовское водохранилище ( $\times 100$ ), нормальное гистологическое состояние ткани миокарда.

#### **4. Инфильтрация клеток крови в ткань миокарда (рисунок 78.1б).**

При разрушении стенок собственных сосудов сердца происходит проникновение клеток крови в ткань миокарда, в пространство между миофибриллами, что является причиной последующего воспалительного процесса и возможной дисплазии окружающих тканей.

Очаги инфильтрации могут иметь локальный характер (рисунок 78.2а), либо быть достаточно обширными и приводить к дисплазии больших участков миокарда.

#### **5. Соединительнотканые разрастания в ткани миокарда (рисунок 79.3а).**

Между миофибрилл образуются аномальные разрастания соединительнотканых волокон, которые окрашены в оттенки красного цвета ярче, чем сами миофибриллы. В результате таких новообразований нарушается структура и нормальное функционирование миокарда.

#### **6. Пигментированные новообразования в ткани миокарда (рисунок 79.3б).**

Очаг перерождения ткани внутри нормального по всем остальным параметрам миокарда сопровождается усиленной пигментацией меланином. Такие новообразования в ткани любого органа в основном характерны для рыб, обитающих в загрязненных водоемах (Hinton, 1989; Gardner et al., 1989). Показано также, что наиболее активными канцерогенными факторами, способствующими возникновению разных опухолей, в том числе и пигментированных, являются углеводороды, особенно из группы антрацена и бензопирена (Леви, 1971; Пауков, Хитров, 1999).

Подобное новообразование кроме сильно пигментированных гранул могут включать аномальные волокна соединительной ткани, разрастания жировой клетчатки и паренхимы, а также вызывать дегенерацию и дисплазию окружающих тканей.

#### **7. Посторонние полости в миокарде.**

Сердечная мышца имеет полости и разрывы, локализованные внутри самой ткани, что является патологией. Данные полости не являются просветами собственных кровеносных сосудов сердца. Возможно, данные нарушения могут быть

последствием перегрузки сердечной мышцы в результате резкого воздействия на особь сильного внешнего стресса. Однако мы полагаем, что полости в ткани миокарда являются результатом дисплазии миофибрилл (рисунок 78.3а) либо появляются вследствие расслоения и искривления отдельных миофибрилл (рисунок 78.4а).

За все время исследования нами не было обнаружено ни одной особи с гистопатологиями миокарда среди плотвы и уклей из разных притоков Куйбышевского водохранилища. В то же время у рыб Саратовского водохранилища мы зафиксировали все семь типов гистопатологий миокарда, два из которых – дистрофия и дисплазия миофибрилл являлись наиболее распространенными, так как обнаружены у всех обследованных видов рыб (таблица 44).

Встречаемость особей с дистрофией миофибрилл варьировала среди разных видов рыб Саратовского водохранилища от 3,6% среди ротана-головешки до 17,5% среди окуня, тогда как доля рыб с дисплазией волокон миокарда среди большинства видов рыб была редкой и лишь среди окуня достигала 10,5% (таблица 44).

Широко распространена была и липоидная дегенерация миокарда, данного типа патологии не встречено только у бычка-цуцика, однако встречаемость таких особей среди других видов была невелика и достигала максимального значения в популяции окуня – 4,8%.

Другие четыре типа гистопатологий миокарда обнаруживались у рыб Саратовского водохранилища нерегулярно (не у всех видов), редко или единично. В двух притоках Саратовского водохранилища – рз. Самара и Съезжая, у рыб обнаружено четыре типа гистопатологий миокарда, причем в р. Б. Кинель таких рыб обнаружено не было (таблица 45). Все четыре типа патологий обнаружены у бычка-кругляка из устьевого участка р. Самара, при этом самой распространенной патологией оказалась дистрофия миофибрилл, она обнаружена у 3 особей (5,7%).



**Таблица 44.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий миокарда среди рыб Саратовского водохранилища

Тип патологии миокарда	Встречаемость особей с различными типами патологий миокарда, %						
	плотва	лещ	окунь	бычок-кругляк	бычок-головач	бычок-цуцик	ротан-головешка
1. Дистрофия миофибрилл	9,3±3,15	7,9±2,90	17,5±4,82	7,2±2,64	10,1±3,21	4,9±2,79	3,6±1,76
2. Липоидная дегенерация	3,5±1,99	4,6±2,23	4,8±2,70	3,1±1,77	2,3±1,58	-	2,7±1,53
3. Дисплазия миофибрилл	2,3±1,64	2,3±1,60	9,5±3,73	4,1±2,03	4,5±2,21	4,9±2,79	2,7±1,53
4. Инфильтрация клеток крови в ткань	-	2,3±1,60	-	4,1±2,03	3,4±1,92	3,3±2,30	-
5. Соединительнотканые разрастания	-	-	3,2±2,23	4,1±2,03	-	3,3±2,30	6,3±2,30
6. Пигментированные новообразования	-	1,1±1,10	-	-	2,3±1,58	-	-
7. Полости и разрывы миокарда	-	-	-	1,0±1,00	1,1±1,10	-	-

**Таблица 45.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий миокарда среди рыб из притоков Саратовского водохранилища

Тип патологии миокарда	Встречаемость особей с различными типами патологий миокарда, %				
	р. Самара		р. Съезжая		р. Большой Кинель
	плотва	бычок-кругляк	плотва	укляя	плотва
1. Дистрофия миофибрилл	1,7±1,69	5,7±3,20	3,7±2,58	2,3±2,33	-
2. Липоидная дегенерация	-	1,9±1,89	-	-	-
3. Дисплазия миофибрилл	-	1,9±1,89	-	-	-
4. Инфильтрация клеток крови в ткань	1,7±1,69	3,8±2,64	3,7±2,58	-	-

**Таблица 46.** Встречаемость особей с различными типами гистопатологий миокарда среди рыб Куйбышевского водохранилища

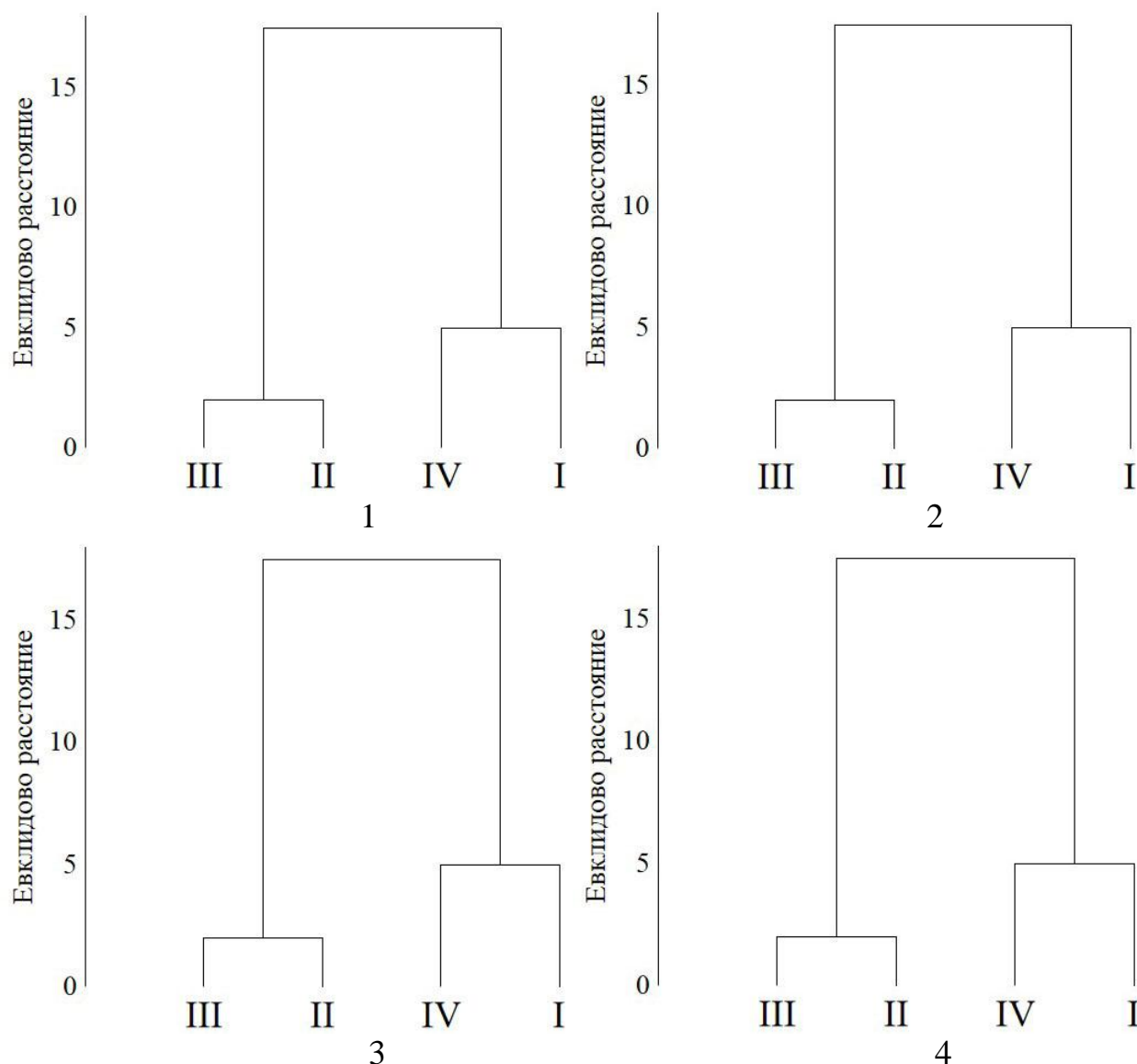
Тип патологии миокарда	Встречаемость особей с различными типами патологий миокарда, %			
	плотва	лещ	бычок-кругляк	бычок-головач
1. Дистрофия миофибрилл	15,4±4,51	16,9±4,48	25,4±5,53	15,8±4,87
2. Липоидная дегенерация	1,5±1,50	4,2±2,39	-	3,5±2,46
3. Дисплазия миофибрилл	3,1±2,16	5,6±2,76	-	-

Особь с другими тремя типами патологий обнаруживались среди бычка-кругляка единично, так же как и среди плотвы из обследованного водоема – по 1 особи (1,7%) с дистрофией миофибрилл и инфильтрацией клеток крови. В р. Съезжая два данных типа гистопатологий миокарда также обнаружены у плотвы и уклейки единично (таблица 45).

У четырех исследованных массовых видов рыб Куйбышевского водохранилища обнаружено всего три типа гистопатологий миокарда, причем два из них: липоидная дегенерация и дисплазия миофибрилл фиксировались в основном у особей плотвы и леща редко или единично. Липоидная дегенерация миокарда обнаружена также у двух особей бычка-головача (3,5%). Однако встречаемость рыб с дистрофией волокон миокарда была достаточно высокой среди всех четырех видов рыб Куйбышевского водохранилища и варьировала от 15,4% особей среди плотвы до 25,4% особей среди бычка-кругляка (таблица 46), что несколько выше, чем среди рыб Саратовского водохранилища.

В результате установлено, что частота встречаемости особей с различными типами гистопатологий миокарда находится в прямой зависимости от уровня антропогенной нагрузки на тот или иной водоем и не имеет зависимости от видовой принадлежности рыб, как и в случае с гистопатологиями других внутренних органов. Однако ткань миокарда является наиболее защищенной от негативных воздействий окружающей среды, в силу чего и разнообразие обнаруженных типов гистопатологий значительно меньше, чем в других органах. Особи с гистопатологиями миокарда также имеют минимальную встречаемость во всех исследованных водоемах относительно рыб с гистопатологиями жабр, печени и гонад.

Согласно результатам кластерного анализа встречаемости особей с гистопатологиями внутренних органов в изученных водоемах и водотоках с различным уровнем загрязнения также как и в случае с нарушениями гематологических параметров, выделяются два кластера, которые аналогичны по всем изученным показателям (рисунок 80).



**Рисунок 80.** Дендрограмма сходства (по Брею-Кёртису) водоемов с различным уровнем загрязнения по встречаемости особей (%) с гистопатологиями жаберного аппарата (1), печени (2), гонад (3) и миокарда (4) (для всех видов рыб) (обозначения как на рисунке 48).

Наибольшим сходством по встречаемости рыб с гистопатологиями во всех четырех обследованных органах характеризуются условия в самих Волжских водохранилищах (кластер I) и во втором контроле (кластер IV – р. Позимь), характеризующиеся стабильно высоким уровнем загрязнения и высокой встречаемостью рыб с повышенным содержанием аномальных клеток и разнообразием патологий.

Водоемы со средним уровнем загрязнения (II) и с минимальным уровнем загрязнения или полным его отсутствием (III) объединились в

другой кластер, то есть сходство данных водоемов по встречаемости рыб с патологиями эритроцитов с кластером I–IV является незначительным. Сходство водоемов внутри кластера II–III находится на среднем уровне (в 46%), что подтверждает различие между средне загрязненными притоками (II) и реками, не испытывающими антропогенной нагрузки (III) по всем четырем гистологическим параметрам (рисунок 80).

Полученные результаты свидетельствуют, что массовые виды рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ подвержены сильному прессу неблагоприятных воздействий окружающей среды, среди которых уровень комплексного антропогенного загрязнения является определяющим. Об этом свидетельствуют различные морфофизиологические нарушения, имеющие, в основном, необратимый характер и обнаруживаемые у значительного количества половозрелых особей из этих двух водохранилищ: разнообразные типы патологий клеток крови, нарушения гематологических параметров и гистопатологические нарушения тканей некоторых внутренних органов.

Так среди плотвы Саратовского водохранилища доля рыб с отклонениями в основных гематологических параметрах – интенсивность процесса гемопоэза ( $85,3 \pm 1,72\%$  особей), соотношение клеток эритроидного и лимфоидного ряда крови ( $54,6 \pm 2,42\%$  рыб), соотношении основных форм лейкоцитов ( $71,9 \pm 2,19\%$ ), составляет основу популяции, как и среди других видов рыб. Значительна также встречаемость особей с гистопатологиями внутренних органов и Куйбышевском водохранилищах. Подобные нарушения невозможно выявить при внешнем осмотре рыб, однако, их наличие адекватно характеризует состояние отдельных особей и всей популяции.

Результаты многолетних исследований рыб из обоих водохранилищ позволяют констатировать, что представители ихтиофауны длительное время испытывает хроническое воздействие комплекса антропогенных факторов (в том числе – комплексных загрязнений), что отрицательно отразилось на качественных характеристиках их популяций. Об этом свидетельствует

невысокая встречаемость здоровых особей среди обследованных рыб. При сохранении подобного уровня негативного воздействия, мы считаем возможным не только дальнейшее ухудшение качественных показателей всех массовых видов рыб Саратовского и Куйбышевского водохранилищ, но и снижение их численности.

В то же время в притоках исследованных водохранилищ, не испытывающих существенной антропогенной нагрузки и отличающихся более благоприятным гидрологическим режимом, доля рыб с различными морфофункциональными нарушениями (отклонениями в гематологических параметрах и гистопатологиями органов) в популяциях разных видов значительно ниже, чем в водохранилищах. Минимально и разнообразие типов обнаруживаемых патологий. Во многих случаях встречаемость особей с различными патологиями минимальна либо единична. При этом наиболее массовые типы патологий клеток крови и гистопатологии внутренних органов и тканей стабильно обнаруживаются у рыб из всех обследованных водоемов, отличается лишь частота встречаемости особей с тем или иным типом патологии.

Не обнаружено и какой либо выраженной зависимости обнаружения разных типов клеточных нарушений и гистопатологий от видовой принадлежности, особенностей жизненного цикла, происхождения и экологических предпочтений особей. Данный факт подтверждает неспецифический характер основной массы обнаруженных нами морфофизиологических нарушений, и открывает определенные возможности использования данных патологий для экологического мониторинга водоемов и водотоков с различным уровнем загрязнения.

## Глава 6

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ У РЫБ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ

Ранее установлено, что стрессирующие факторы воздействуют на организм позвоночных по стандартному принципу. Стрессоры, с одной стороны, вызывают ряд негативных процессов (повреждения и нарушения различных систем и органов особей), с другой – усиливают защитные функции, которые противодействуют нестабильности (Мартемьянов, 2002). По мнению автора, в начальный период стресса эффекты повреждений и нарушений преобладают над адаптивными реакциями, вызывая тем самым снижение уровня резистентности организма (реакция тревоги по Селье), причем, если величина отрицательных эффектов выходит за границы, совместимые с жизнью, то животное погибает в начальной фазе острого стресса (Там же). Если же степень негативных процессов не превышает допустимых пределов, то усилившиеся защитные реакции со временем ликвидируют нарушения, предавая организму повышенную устойчивость (стадия резистентности по Селье) (Там же). Воздействие одновременно продолжительного и сильного стрессора вызывает истощение адаптивных ресурсов организма, приводя к преобладанию негативных симптомов над защитными реакциями (стадия истощения по Селье) (Там же).

Негативные процессы, происходящие на организменном уровне, неизбежно вызывают нарушения на уровне популяции. На примере сиговых рыб из водоемов Субарктики, испытывающих влияние многолетнего комплексного загрязнения, выявлены общие закономерности развития токсикозов на основе клинических, патологоанатомических и гематологических показателей организма особей (Моисеенко, 1999).

Установлено, что общая закономерность развития токсикоза рыб определяется взаимодействием патогенеза и эволюционно заложенных механизмов защиты организма и характеризуется четырьмя стадиями: I – контакт с фактором стресса, II – мобилизация организма, III – дестабилизация функций организма, VI – деградация (Там же). При этом переход к необратимым изменениям и гибели организма характеризуется “критической точкой”, разделяющей “норму и патологию” и методически устанавливаемой на основе гематологических показателей. При этом два основных фактора, определяющих адаптивные перестройки популяций в условиях токсичного загрязнения: повышенная элиминация особей в стаде от токсикозов и дополнительная “энергетическая плата” на детоксикацию, а основной механизм адаптации – концентрация энергетических ресурсов на главную функцию организма – воспроизводство (Там же). В связи с этим популяция приспособительно перестраивает стратегию жизненного цикла по двум направлениям в соответствии с общебиологическими законами саморегуляции численности: а) замедление темпа роста при интенсивном питании и запасании жиров, отсрочка созревания, пропуски нерестового сезона; б) переход на короткий цикл воспроизводства, раннее созревание и омоложение стада (Там же).

Приведенные тенденции подтверждаются более поздними исследованиями других авторов (Терентьев, Кашулин, 2004). По их мнению, интенсификация энергетического обмена, обусловленная негативным изменением среды обитания, также ведет к увеличению скорости роста и более раннему созреванию сиговых, но снижению предельных размеров. Отмечаемое раннее созревание рыб, вероятно, является ответной реакцией популяции на сокращение продолжительности жизни в результате повышенной токсичности среды, а быстрое развитие особей и более раннее созревание сокращает энергетические затраты на образование половых продуктов и процессы детоксикации в условиях сублетального загрязнения (Там же).

Таким образом, в условиях токсического загрязнения адаптивную ценность приобретают перестройки популяций рыб связанные, прежде всего, с сокращением более энергоемких функций (долгожительство, соматический рост, позднее созревание, многократность нереста) которые проявляются в сжимании структурных рядов – возрастного, размерного, нерестового (Моисеенко, 1999).

Возникновение различных морфофункциональных нарушений у отдельных особей в условиях воздействия комплексных загрязнений имеет ряд закономерностей, одинаковых для рыб разных видов, экологических групп и возрастов.

Длительное воздействие стрессовых факторов подавляет не только иммунные функции, но и механизмы функционирования некоторых гормонов. Волжские осетровые и костистые рыбы демонстрируют классическую схему реакции на острый стресс, характерную для позвоночных животных.

У осетровых при остром стрессе резко возрастает уровень кортизола и глюкозы в крови, что приводит к ингибированию половых гормонов (стероидов: тестостерона и прогестерона) и оказывает тормозящее действие на функцию половых желез (Баюнова и др., 2000). При кумулятивном токсикозе происходят изменения в активности ферментов, что следует рассматривать в качестве первичной реакции биологически активных веществ, направленной на детоксикацию чужеродных соединений (Земков, Журавлева, 2004а). Однако при продолжительном воздействии стрессовых факторов (в том числе – комплексного загрязнения) происходит постепенное затухание активности ферментов, способствующих детоксикации (что соответствует стадии истощения по Селье: преобладание негативных симптомов над защитными реакциями) (Там же). В этом случае сдвиги в биохимических процессах, направленные изначально на повышение резистентности организма в условиях стресса, приобретают негативный характер и провоцируют патологические изменения организма уже на



клеточном и тканевом уровне. Многочисленными исследованиями доказано, что подобные изменения носят неспецифический характер, так как аналогичны для большинства позвоночных животных.

Как проявление адаптации рыб к неблагоприятным условиям среды рассматривается изменение фракционного состава мышечных водорастворимых белков. Отмечено увеличение числа компонентов мышечных белков у подопытных карпов под влиянием сублетальных концентраций нефти, что считают конкретным проявлением биохимической адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды (Каниева, 2004а,б,в). Подобные изменения зафиксированы как у половозрелых особей, так и у молоди рыб. Так у мальков кутума (*Rutilus frisii kutum*) при воздействии различных концентраций нефти (от 0,05 до 1,0 мг/л) отмечены неспецифические изменения активности пептид-гидролаз, содержания общего белка и фракционного состава тканевых белков (Курбанова и др., 2004). При хроническом воздействии нефти наблюдалось снижение интенсивности накопления общего белка и содержания альбуминов, повышение доли гамма-глобулинов и активности пептид-гидролаз, данные процессы рассматриваются как адаптивные реакции организма на изменившиеся условия среды, направленные на обеспечение выживаемости, роста и развития в ювенальном этапе онтогенеза (Там же).

При длительном воздействии сублетальных концентраций токсикантов, либо при кратковременном влиянии летальных доз загрязнений, адаптивные реакции на уровне тканей организма, в том числе и мышечной, перестают выполнять защитную функцию и приводят к дегенеративным изменениям в тканях и органах.

Таким образом, любые неспецифические изменения, происходящие в организме рыб при кумулятивном токсикозе, на начальных этапах, видимо, носят адаптивный характер, но при затянувшемся, хроническом воздействии сублетальных стрессовых факторов, либо при усиленном их влиянии,

негативные симптомы и патологические изменения начинают преобладать над защитными реакциями.

Не вызывает сомнения тот факт, что негативное воздействие антропогенных загрязнений на рыб в условиях волжских водоемов и водотоков, в особенности – водохранилищ, которые являются главными накопителями водных масс, вызывает определенные реакции и адаптивные перестройки организма: нарушения морфологических, патологоанатомических и гематологических показателей. Однако возникновение, развитие и последствия появляющихся в популяциях гидробионтов морфофизиологических нарушений подчинены ряду общих закономерностей, не зависящих от географических и эколого-гидрологических характеристик исследуемого водоема, видового и возрастного состава ихтиофауны.

Например, у половозрелых особей волжской стерляди в современных экологических условиях выявлен широкий спектр морфофункциональных отклонений в гонадах, почках и жабрах, как на уровне защитно-приспособительных адаптивных реакций, так и на уровне патологических процессов (некрозы в жабрах и почках, тератогенез половых клеток) (Лепилина, Романов, 2005). Показано, что при действии токсикантов в эпителии жабр развиваются различные адаптивные реакции на тканевом уровне – увеличение клеточных элементов (гиперплазия) как в первичном, так и во вторичном эпителии, рост числа железистых клеток, предохраняющих жабры от прямого воздействия токсических веществ, растворенных в воде (Там же). В результате опосредованного воздействия внешней среды обнаружен также широкий спектр морфологических отклонений в развитии ооцитов разных стадий развития (прото- и трофоплазматического роста) у самок стерляди, разноуровневые морфофункциональные изменения в нефронах почек, сосудистые расстройства в системе кровообращения и органах кроветворения (анемия), нарушения жирового обмена в печени (Там же). Аналогичные

морфофункциональные нарушения, связанные, прежде всего, с характером распространения загрязняющих веществ по акватории, зафиксированы и у леща из водохранилищ Верхней Волги – Рыбинского и Горьковского (Васильев и др., 2004).

По результатам ихтиопатологического исследования жабр, печени, почек и кишечника лещей сделан вывод об увеличении уровня заболеваемости рыб в местах повышенного загрязнения в 1,1–1,5 раза, в ряде случаев отмечены аномалии в строении ротового аппарата, искривления позвоночника, изменения в селезенке и гонадах, наличие абсцессов и язв на теле рыб (Там же). Обнаруженные нарушения объяснялись как общей реакцией систем организма на неблагоприятный фактор, так и с некоторым снижением резистентности организма вследствие увеличения заболеваний с патологическими изменениями в органах и тканях (Там же).

Отмечается, что на фоне сочетания большого количества загрязняющих веществ в Волге, в основном ксенобиотиков, морфофункциональные изменения в отдельно взятых органах стерляди (Лепилина, Романов, 2005) и леща (Васильев и др., 2004) носят неспецифический характер, сопровождаясь в некоторых случаях (на уровне половых клеток) тератогенным и канцерогенным эффектами (Лепилина, Романов, 2005). При этом степень адаптивных реакций отдельных органов у рыб варьирует в соответствии с ежегодно меняющимся уровнем загрязнения волжской воды, что в свою очередь определяет и уровень регенерационных способностей исследованных органов (Там же). Периоды частичного восстановления функций органов характеризуются снижением как количественных, так и качественных (виды патологий) показателей в половых клетках, однако полного восстановления до физиологической нормы не происходит. Наличие ооцитов с необратимыми нарушениями в преднерестовый период у 58,5% самок стерляди не только характеризует уровень современного естественного воспроизводства, но и в какой-то степени объясняет причины его снижения и

происхождение разнообразных аномалий у предличинок и молоди стерляди из естественных водоемов (Там же).

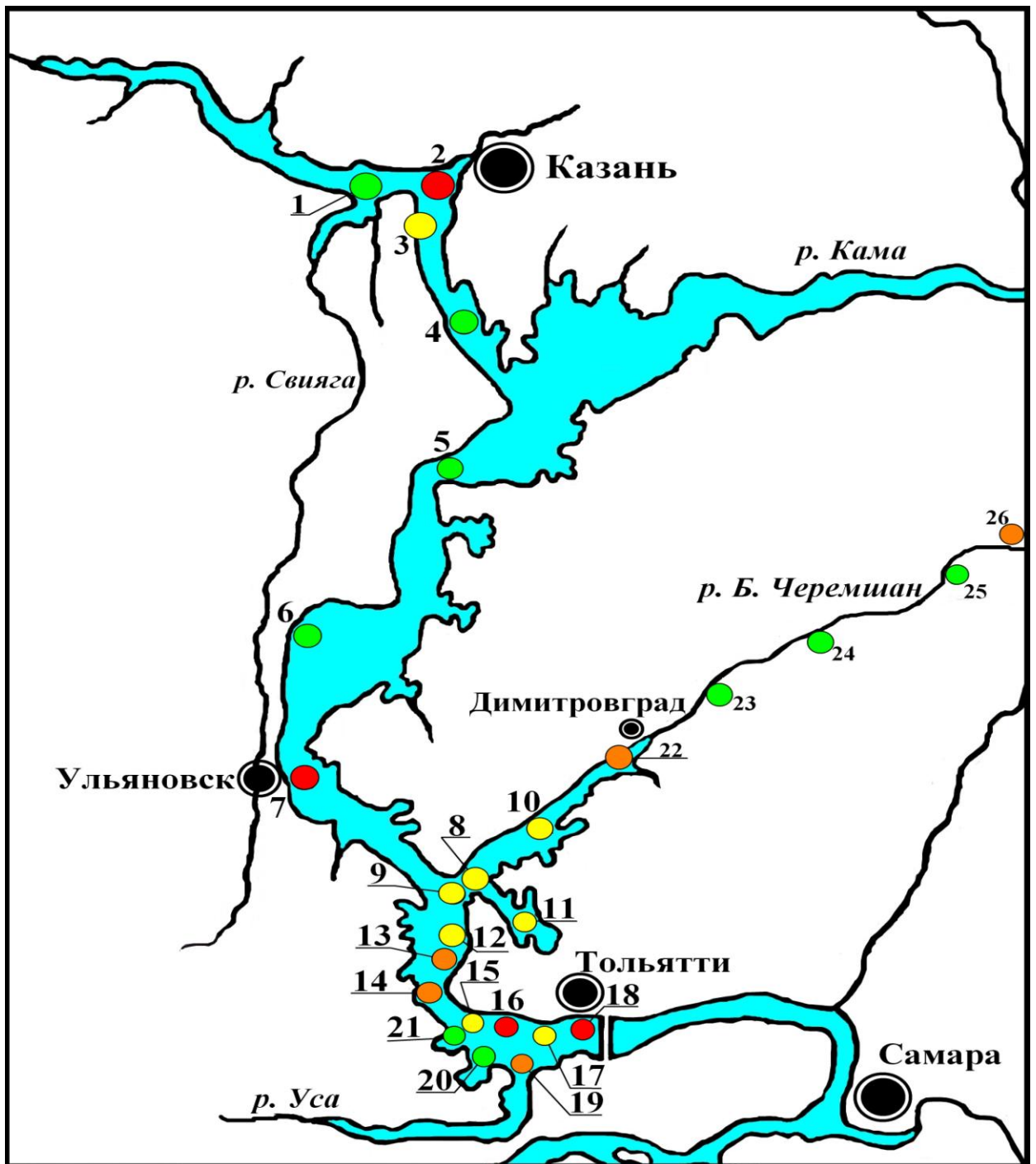
Аналогичные результаты получены и в ходе наших исследований морфофизиологического состояния массовых аборигенных и чужеродных видов рыб из водоемов и водотоков Средней и Нижней Волги (главы 3, 4 и 5). Как среди аборигенных карповых и окуневых рыб, так и среди чужеродных бычковых, основу популяций в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах составляют особи с нарушениями гематологических параметров, патологиями клеток крови и гистопатологиями жабр, печени, гонад и миокарда. При этом доля рыб с нарушениями, которые можно характеризовать как адаптивные реакции (разрастание покровного эпителия ламелл, гиперплазия кубического эпителия желчных протоков печени, позволяющие организму перейти на новый уровень функционирования и выжить в изменяющихся условиях среды обитания, относительно мала. В то же время наиболее частой встречаемостью характеризовались гистопатологии, относящиеся к разряду необратимых, когда восстановление структуры и функции органа или ткани невозможно – липоидные дистрофии тканей органов, инфильтрации, некротические изменения, стерилизация гонад, различные новообразования (неоплазии), цитолиз эритроцитов и т.д. Количество же рыб разных видов, не имеющих каких-либо морфофизиологических нарушений, в условиях Саратовского и Куйбышевского водохранилищ настолько мало, что не позволяет поддерживать достаточный уровень пополнения популяций качественным потомством. Об этом свидетельствует и высокий процент личинок и мальков рыб с морфологическими аномалиями в обследованных волжских водохранилищах, большинство из которых приводят к гибели особей на ранних стадиях развития.

В более благополучных в экологическом плане водоемах, какими являются некоторые притоки Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, ситуация отличается – основу популяций исследованных видов рыб

составляли особи здоровые по морфологическим, гематологическим и гистологическим показателям. Морфофизиологические нарушения, встречающиеся у части рыб из данных водоемов, характеризовались в основном адаптационным характером, а встречаемость рыб с необратимыми патологическими изменениями была минимальной.

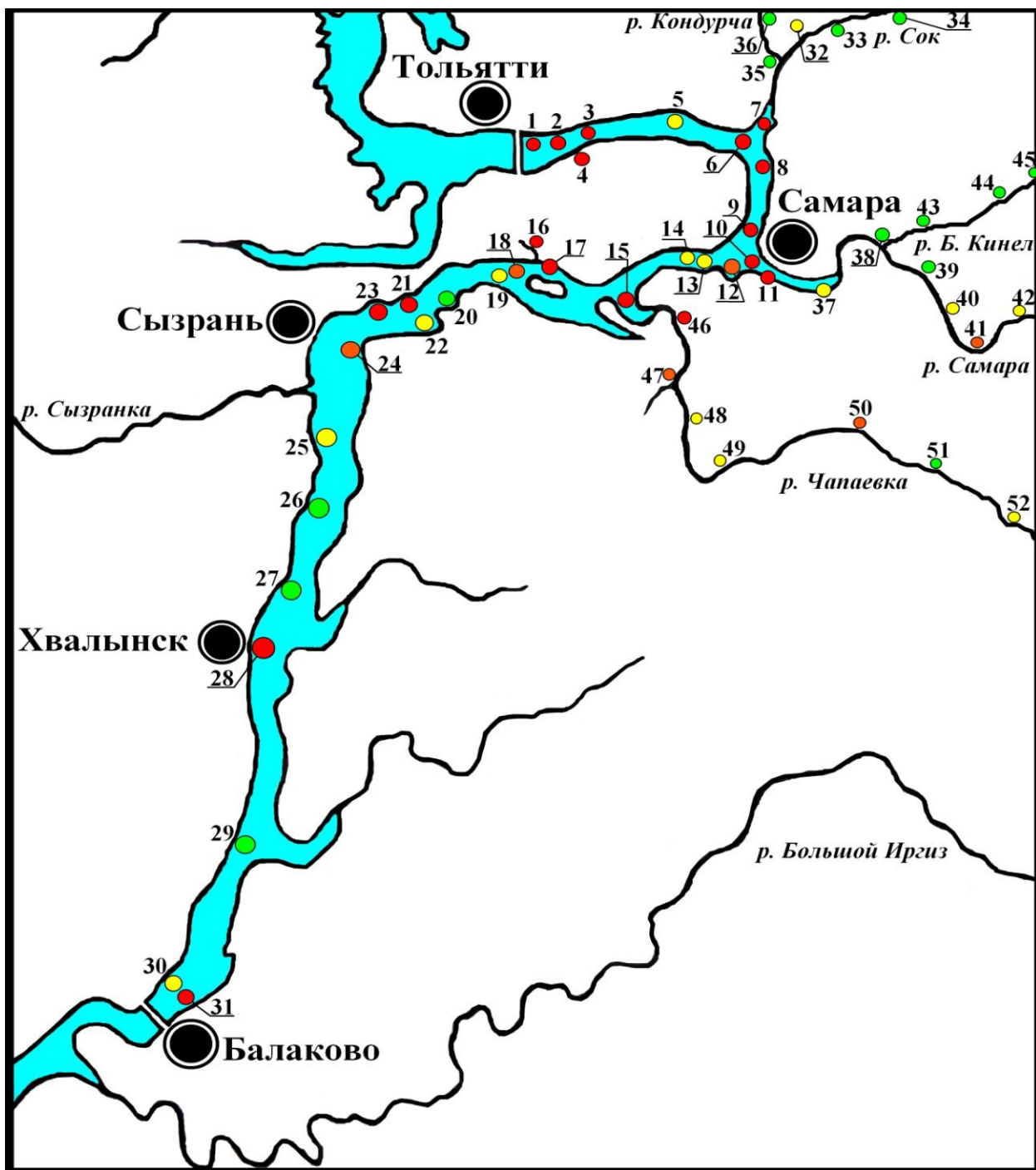
В волжских водохранилищах морфофизиологические изменения у рыб, по-видимому, уже вышли за границы интенсификации энергетического обмена (снижения предельных размеров и более раннего созревания особей), так как основу популяций массовых видов рыб составляют особи с широким спектром морфофизиологических отклонений, которые уже нельзя назвать адаптационными клеточными и тканевыми реакциями. Такие нарушения, являющиеся зачастую необратимыми морфологическими аномалиями и патологиями органов и тканей, обнаружены у рыб не только разных систематических, но и разных возрастных групп, что указывает на их неспецифический характер.

Однако, встречаемость как аномальной молодежи рыб, так и половозрелых особей с обнаруженными гемато- и гистопатологиями в Куйбышевском, Саратовском водохранилищах и их притоках имеет неоднородный характер, и зависит, прежде всего от уровня загрязнения отдельных участков водоемов. На основе общего индекса заболеваний рыб в конкретной зоне загрязнения –  $Z$  (по: Т.И. Моисеенко и др., 2010) видно, что наибольших значений данный показатель достигает в наиболее загрязненных акваториях: вблизи крупных городов и населенных пунктов, объектов промышленной и транспортной инфраструктуры, где наиболее высок уровень техногенных загрязнений (рисунки 81, 82 и 83). При расчете  $Z$  учитывалось как морфологическое состояние молодежи рыб, так и морфофизиологические показатели половозрелых особей.



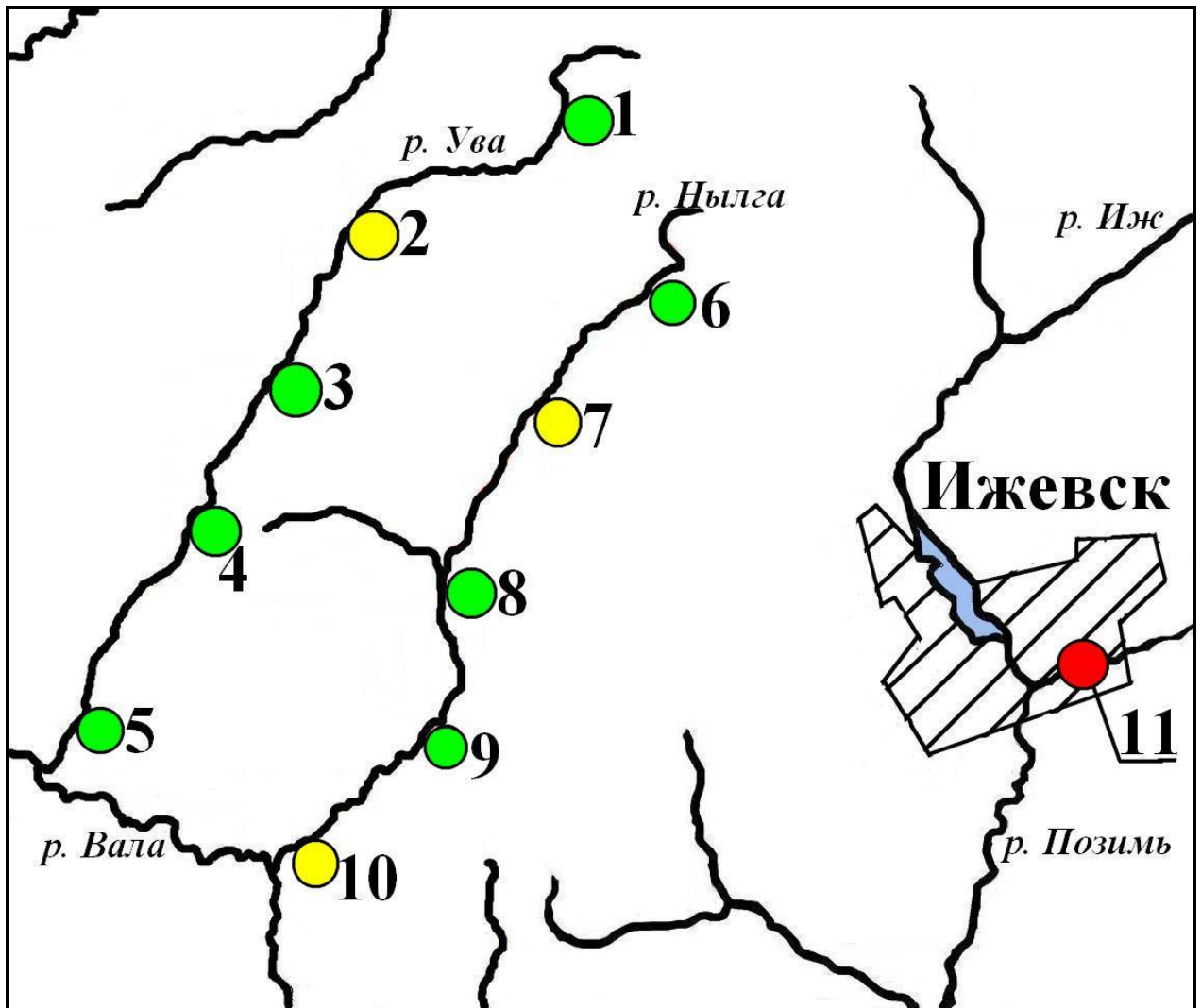
**Рисунок 81.** Встречаемость особей с морфофизиологическими нарушениями (среди молоди и взрослых рыб) в участках Куйбышевского водохранилища и его притоках с разным уровнем антропогенной нагрузки (номера станций как на рисунке 2.1; Глава 2):

- – 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 82.** Встречаемость особей с морфофизиологическими нарушениями (среди молоди и взрослых рыб) в участках Саратовского водохранилища и его притоках с разным уровнем антропогенной нагрузки (номера станций как на рисунке 2.2; Глава 2):

- – 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 83.** Встречаемость особей с морфофизиологическими нарушениями (среди молоди и взрослых рыб) в притоках Куйбышевского с разным уровнем антропогенной нагрузки (Удмуртская республика) (номера станций как на рисунке 2.5; Глава 2):

- – 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),  $Z > 0,53$ .



Если в водоеме все рыбы не имеют признаков токсикозов, то  $Z=0$ , чего в наших исследованиях не наблюдалось. Значение индекса повышаться 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 молодежи в пробах, фиксировалось нами в притоках Куйбышевского водохранилища – р. Нылга и Ува, являющихся незагрязненным контролем (рисунок 83). Подобная ситуация была характерна и для других притоков: рр. Большой Кинель (Саратовское вод.) и Большой Черемшан (Куйбышевское вод.), а также для участков водохранилищ удаленных от источников постоянного техногенного загрязнения: станции № 1, 4–6, 20, 21 (Куйбышевское вод.) и № 20, 26, 27, 29 (Саратовское вод.). В этих районах  $Z$  не превышал 0,11, что соответствует низкой встречаемости особей с морфофизиологическими нарушениями среди молодежи и половозрелых рыб, а характер обнаруживаемых отклонений в изучаемых гемато- и гистологических параметрах имел слабовыраженный характер.

В то же время в районах таких крупных промышленных и транспортных центров как Казань, Ульяновск, Тольятти, Самара, Сызрань, Хвалынский, Балаково (рисунки 81, 82), Ижевск (рисунок 83), в устьевых участках рек Сок, Самара, Чапаевка, характеризующихся стабильно высоким уровнем загрязнения, значение *общего индекса заболеваний рыб в конкретной зоне загрязнения* –  $Z$ , превышало 0,53, что соответствовало высокой встречаемости аномальной молодежи рыб и половозрелых особей с морфофизиологическими нарушениями, соответствующими отклонениям средней тяжести и ярко выраженным симптомам интоксикации.

Таким образом, встречаемость рыб с морфофизиологическими нарушениями имеет в водохранилищах Средней и Нижней Волги и их

притоках с разным уровнем антропогенной нагрузки имеет выраженный очаговый характер и напрямую зависит от степени загрязнения того или иного участка водоема.

Динамику возникновения у рыб адапционных реакций и преобразования возникающих изменений в необратимые физиолого-патологические процессы можно наглядно представить в виде схемы (рисунок 84), которая будет являться универсальной как для водоемов и водотоков с различным гидрологическим режимом и уровнем воздействия неблагоприятных факторов, так и для рыб разных систематических групп.

В природных водоемах, не подверженных воздействию техногенных загрязнений и комплекса других неблагоприятных абиотических и биотических факторов, в популяциях рыб разных видов не наблюдается особей с какими-либо морфофизиологическими нарушениями: все системы органов и ткани организма находятся в состоянии нормы. Морфологические аномалии могут обнаруживаться у молоди рыб, но доля аномальных особей в скоплениях личинок и мальков не должна при этом превышать 5,0%, что является последствием естественного мутагенеза и нормой для благополучных природных популяций (Кирпичников, 1987).

В исследованных волжских водоемах и водотоках нами практически не обнаружено популяций рыб характеризующихся состоянием нормы организма для доминирующего количества особей, так как не сохранилось водоемов не подверженных какому-либо антропогенному воздействию. Реками наиболее близкими по своим гидрологическим показателям и уровню загрязнения к благополучным природным водоемам, согласно полученным нами результатам, оказались лишь р. Ува и р. Нылга – притоки Куйбышевского водохранилища 5-го порядка. Уровень антропогенного воздействия на данные водоемы минимален в силу удаления их от крупных населенных пунктов и промышленных объектов, однако, и в данных малых реках условия обитания рыб не вполне соответствуют норме.



Рисунок 84. Динамика изменения морфофизиологического состояния рыб в условиях негативного воздействия присутствующих в воде загрязнений.

Согласно предложенной 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 качества водной среды 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 ее элиминации. То есть негативное воздействие любого характера, оказываемое на личиночные и мальковые стадии развития рыб в силу их повышенной чувствительности, является в конечном итоге летальным и приводит к стадии деструкции, в отличие от половозрелых рыб.

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.

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. Биохимическая адаптация рыб на начальных этапах загрязнения водной среды подтверждена исследованиями отечественных и зарубежных ученых. Так, экспериментально установлено, что при начале

токсического стресса у рыб (в частности у лаврака – *Dicentrarchus labrax*) увеличивается содержание плазменного кортизола, который оказывает подавляющее действие на иммунную систему, и глюкозы, а также происходит параллельное снижение фагоцитарной активности в почках и цитотоксической активности эозинофильных гранулоцитов из перитониальной полости (Wazzana et al., 2002). Подобная динамика кортизола, глюкозы и половых стероидов отмечена и у производителей волжских осетровых в условиях стрессовых воздействий. Осетровые, как и костистые рыбы, демонстрируют классическую схему реакции на острый стресс, характерную для всех позвоночных животных: повышение уровня кортизола и глюкозы в крови и подавление функций иммунитета и функции половых желез (подавление половых стероидов) (Баюнова и др., 2000). В процессах сопротивляемости организма при кумулятивном токсикозе происходит также изменение активности ферментов, которое следует рассматривать в качестве первичной реакции биологически активных веществ, направленной на детоксикацию чужеродных соединений (Земков, Журавлева, 2004а). Отмечались также общевидовые для окуня и линя особенности динамики белкового компонента сыворотки крови и процессов лейкопоза в условиях естественного процесса эвтрофикации водоема и его химического загрязнения (Лугаськова, Насыров, 2001), что указывает на неспецифический характер подобных реакций.

Для реакции тревоги организма на фоне сублетального воздействия токсикантов характерны также 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, 2004а). Показано, что токсическая среда вызывает иммунный дефицит, и, как следствие этого, возникают воспалительные

процессы (Там же), однако повышение молодых форм нейтрофилов и эозинофилов в организме, образующих циркулирующие иммунные комплексы антиген-антитело, обеспечивают при определенном уровне загрязнения детоксикационные процессы в организме рыб (Ложичевская и др., 2002) что является адаптационной реакцией. Подобные изменения в лейкоцитарной формуле при токсических стрессах, в частности – уменьшение относительного количества лимфоцитов на фоне увеличения доли нейтрофилов, определены как изменения неспецифического характера (Балабанова, Микряков, 2002).

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 адаптационным гистологическим преобразованиям некоторых тканей и органов, что направлено на повышение резистентности 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 резистентности организма (рисунок 84), прежде всего, происходит увеличение высоты жаберного эпителия, являющееся определяющим фактором гипертрофии филаментов (Шарова, Лукин, 2004). Изначально, гипертрофия имеет приспособительное значение, направленное на компенсацию функций поврежденного органа или системы, однако, количество клеточных слоев, формирующих эпителий ламелл и филамента, строго регламентировано и зависит от экологии рыб (Там же).

В условиях сублетальных загрязнений не менее реактивно реагируют изменением своей структуры почки, основной функцией которых является

выведение из организма продуктов метаболизма и вредных веществ, а также печень – основной орган детоксикации (Там же). В то же время сердечная мышца и репродуктивные органы являются наиболее инертными к действию различного рода токсикантов структурами (Там же), следовательно, на стадии резистентности организма вероятность обнаружения адаптивных гистологических преобразований в данных органах минимальна. Параллельно с процессами гипертрофии покровной ткани жабр происходят процессы компенсаторно-адаптивного преобразования и других внутренних органов и тканей: гипертрофия кубического эпителия желчных протоков печени, утолщение стенок капилляров и более крупных кровеносных сосудов и т.д. Продолжается также повышение содержания гранулоцитов (нейтрофилов и эозинофилов) в белой крови и активизация их фагоцитарных функций.

На каспийских осетровых было показано, что адаптивная модификация в организме под влиянием токсических веществ может проявляться в двух формах. Первая характеризуется отсутствием патологических нарушений в печени рыб, и сохраняется под контролем естественного отбора, а вторая проявляется деструктивными нарушениями в печени – “болезнями адаптации”, которые по ряду признаков могут быть обратимыми (Земков, Журавлева, 2004б). При этом, патоморфологические изменения отмечены не только в печени, но и в скелетных мышцах и гонадах осетровых рыб. Установлено, что все структурно-функциональные нарушения в организме рыб являлись следствием кумулятивного токсикоза – это снижение уровня аэробного и анаэробного видов обмена, накопление липидов и фосфолипидов в тканях (Журавлева, 2003). Отмечена также тенденция увеличения частоты встречаемости рыб с небольшими изменениями в органах или без каких-либо изменений и снижение числа особей с умеренными нарушениями, что свидетельствует о перестройке в популяции осетровых за счет адаптивной модификации как ответной реакции организма на современные условия внешней среды (Там же).

Таким образом, большинство гистологических преобразований, обнаруживаемых у рыб на стадии формирования резистентности организма, такие как гипертрофия, гиперплазия, организация, инкапсуляция являются структурно-функциональными основами компенсаторно-приспособительных реакций, позволяющих организму перейти на новый уровень функционирования и выжить в изменяющихся условиях среды обитания (Шарова, Лукин, 2004). Однако в данных условиях организм вынужден компенсировать энергетические затраты, направленные на адаптивные преобразования. Как правило, в популяциях рыб это происходит за счет сокращения энергетических затрат на соматический рост, что приводит к сокращению размерно-возрастных параметров всей популяции, раннему половому созреванию особей, ухудшению качественно-количественных параметров половых продуктов, сокращению сроков нереста и плодовитости. То есть, при длительном сублетальном воздействии неблагоприятных факторов на рыб происходит общее ухудшение состояния всей популяции, несмотря на все адаптационные изменения, направленные на ее выживание.

Тем не менее, все морфофизиологические адаптационные изменения, характерные для стадии резистентности в условиях сублетального воздействия неблагоприятных факторов, являются обратимыми, и при стабильной и длительной нормализации условий среды обитания организм возвращается к состоянию нормы. Однако при усилении негативного воздействия стрессоров на организм, либо при их достаточно продолжительном сублетальном воздействии наступает стадия истощения, когда различные морфофизиологические преобразования становятся необратимыми. При этом происходит преобладание патологических симптомов над адаптивными реакциями.

В качестве основных типов гистологических преобразований отмечались такие патологии как очаги зернисто-жировой и гидропической дистрофии печени, атрофия эпителия и увеличение просвета почечных канальцев, грануломатозные разрастания в селезенке рыб, которые могут



быть отнесены как к ситуативным изменениям адаптационного характера в случае умеренного воздействия неблагоприятных абиотических факторов среды, либо стать необратимыми при усилении хронического негативного воздействия (Бугаев и др., 2002).

На стадии истощения организма любые морфофизиологические изменения, произошедшие на стадии резистентности и имеющие адаптационный характер, усиливаются и приобретают ярко выраженную форму и необратимый характер, так как баланс между процессами регенерации и дегенерации тканей и органов сдвигается в сторону дегенерации. При этом дегенеративные и некротические нарушения затрагивают даже самые защищенные системы организма – половую, сердечнососудистую и мышечную. На примере мышечной ткани осетровых рыб было показано, что при нарушении процессов регенерации (обусловленном токсикологическими факторами) дегенеративные процессы в мышечной ткани необратимо нарастают, что снижает плавательную способность рыб и может приводить к их гибели (Евгеньева, 2003). Красные мышечные волокна разрушаются мононуклеарными клетками (лимфоцитами и макрофагами), которые активно мигрируют из мелких кровеносных и лимфатических сосудов, проникают между миоцитами, прикрепляются в сарколеме и лизируют сначала клеточную оболочку, а потом и все волокно (Евгеньева, 2004). Таким образом, развитие дегенеративных процессов в красных мышцах осуществляется по типу аутоиммунных реакций и вызвано резкими изменениями гематологических показателей у рыб, обитающих в водоемах с большим содержанием токсикантов (Евгеньева, 2003). По этому принципу развиваются необратимые некротические процессы и в других органах и тканях при длительном сублетальном или летальном воздействии загрязнителей на организм рыб.

Согласно результатам собственных исследований, популяции рыб из таких водоемов как Куйбышевское и Саратовское водохранилища являющихся главными резервуарами водосбора Средней и Нижней Волги,

находятся на условной стадии истощения организма (рисунок 84). Об этом свидетельствуют многочисленные и разнообразные гемато- и гистопатологии внутренних органов и тканей у половозрелых особей разных видов и экологических групп, а также широко распространенные у молоди рыб из данных водоемов морфологические аномалии, приводящие к массовой элиминации личинок и мальков рыб особенно на ранних стадиях развития. В аналогичной экологической ситуации, соответствующей стадии истощения организма, оказались и популяции плотвы и уклейи из р. Позимь – притока Куйбышевского водохранилища третьего порядка, так как этот водоем находится под воздействием постоянных загрязнений бытовыми и промышленными стоками г. Ижевска. Как в обследованных водохранилищах, так и в р. Позимь, доля здоровых рыб в популяциях минимальна, а основу ихтиоценоза составили особи с максимальным количеством типов патологий клеток крови и гистопатологий жабр, печени, гонад и миокарда. Среди обнаруженных морфофизиологических нарушений преобладали патологии, имеющие необратимый летальный характер – липоидные дегенерации печени, гонад и миокарда, дисплазии (некрозы) тканей всех обследованных органов, инфильтрации клеток крови в ткани, развитие новообразований в обследованных органах и тканях, соединительнотканная и липоидная стерилизация гонад, преобладание в кровяном русле эритроцитов с различными типами патологий и т.д.

В результате происходит стремительное ухудшение количественных и качественных показателей популяций обследованных видов рыб из водоемов и водотоков с высоким уровнем загрязнения и хроническим характером воздействия загрязнителей на ихтиофауну, какими являются Саратовское и Куйбышевское водохранилища, а также р. Позимь (Удмуртская республика).

В других обследованных притоках Куйбышевского и Саратовского водохранилищ доля здоровых особей превосходит количество рыб с морфофизиологическими нарушениями, а большинство обнаруженных типов

гистопатологий внутренних органов и тканей характерны для сублетального воздействия неблагоприятных факторов среды.

Таким образом, можно констатировать, что в таких реках как Самара, Большой Кинель, Съезжая (притоки Саратовского водохранилища), Большой Черемшан, Ува и Нылга (притоки Куйбышевского водохранилища) в районах незначительных и непостоянных загрязнений популяции рыб находятся по большей части в благополучном состоянии, на стадии резистентности или устойчивости (см. рисунок 84), и лишь в некоторых случаях приближаются к пограничному состоянию стадии истощения.

## 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 молоди 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 литературы

1. Агамова К.А., Никитина М.И. 1976. Руководство по цитологической диагностике опухолей человека // Под ред. А.С. Петровой, М.П. Птоховой. М.: Медицина, – 1976. – 304 с.
2. Акимова Н.В., Горюнова В.Б., Микодина Е.В., Никольский М.П., Рубан Г.И., Соколова С.А., Шагаева В.Г., Шатуновский М.И. Атлас нарушений в гаметогенезе и строении молоди осетровых. М.: Изд-во ВНИРО, – 2004. – 121 с.
3. Акимова Н.В., Попова О.А., Решетников Ю.С. Морфологическое состояние репродуктивной системы рыб в водоёмах Кольского полуострова // Вопросы ихтиологии. – 2000. – Т. 40, № 2. – С. 282-285.
4. Акимова Н.В., Рубан Г.И. Анализ воспроизводительной системы рыб в связи с проблемами биоиндикации на примере сибирского осетра *Acipenser baeri* // Вопросы ихтиологии. – 1992. – Т. 32, № 6. – С. 102-109.
5. Акимова Н.В., Рубан Г.И. Систематизация нарушений воспроизводства осетровых (*Acipenseridae*) при антропогенном воздействии // Вопросы ихтиологии. – 1996. – Т. 36, № 1. – С. 65-80.
6. Алтуфьев Ю.В. Печень каспийских осетровых в условиях антропогенного загрязнения // Тез. докл. симп., посвящ. 90-летию со дня рожд. Н.А. Гербильского (1900–1990) «Экологические и морфофункциональные основы адаптации гидробионтов». Л.: Изд-во ЛГУ, – 1990. – С. 3-5.
7. Алтуфьев Ю.В., Гераскин П.П. Мониторинг морфофункционального состояния мышечной ткани осетровых и костистых рыб Каспия // Проблемы региональной экологии. – 2003. – № 6. – С. 111-124.
8. Алтуфьев Ю.В., Романов А.А., Шевелева Н.М. Гистопатология поперечно-полосатой мышечной ткани и печени каспийских осетровых // Вопросы ихтиологии. – 1992. – Т. 32, № 2. – С. 157-171.

9. *Андреев В.В.* Эколого-токсикологическая обстановка в дельте р. Волги. Астрахань. 1991. 7 с. ДЕП. В ВНИЭРХ 20.05.91, № 1158 – РХ 91.

10. *Андреев В.В., Крючков С.В., Григорьев В.А.* Накопление тяжелых металлов в водных экосистемах и их влияние на осетровых рыб // Кратк. тез. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоемов СССР». Ч. 1. Астрахань: ЦНИОРХ, – 1989. – С. 6-7.

11. *Арнольд И.Н.* Загрязнение вод нефтяными продуктами и его влияние на рыбные богатства // Изв. СПб. биолог. лабор. – 1903. – 63 с.

12. *Аршаница Н.М.* Материалы ихтиотоксикологических исследований в бассейне Ладожского озера // Влияние загрязнений на экосистему Ладожского озера. Л.: ГосНИОРХ, – 1988. С. 12-23.

13. *Аршаница Н.М., Перевозников М.А.* Ихтиологический мониторинг водоемов // Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, – 1997. – С. 140.

14. *Ахмедова Т.П.* Влияние некоторых синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) на показатели углеводного обмена // Второй симпозиум по экологической биохимии рыб: Тез. докл. Всесоюз. симпоз. Ярославль: Ин-т биол. внутр. вод АН СССР, – 1990. – С. 9-10.

15. *Балабанова Л.В., Микряков В.Р.* Сравнительная характеристика действия нафталина и фенола на показатели белой крови карася *Carassius carassius* (L.) // Биология внутренних вод. – 2002. – № 2. – С. 100-102.

16. *Батоян В.В., Сорокин В.Н.* Микроэлементы в рыбах Куйбышевского водохранилища // Экология. – 1989. – № 6. – С. 81-84.

17. *Бажунова Л.В., Баранникова И.А., Дюбин В.И., Семенкова Т.Б.* Гормональные характеристики осетровых в условиях стресса // Тез. докл. Междунар. конф. “Осетровые на рубеже 21 века”. Астрахань: Изд-во КаспНИИРХ, – 2000. – С. 122-123.

18. *Белова Н.В., Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Рябов И.Н.* Состояние воспроизводительной системы рыб из озера Кожановское (Брянская область),



загрязнённого радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Вопросы ихтиологии. – 2001. – Т. 41, № 3. – С. 358-367.

19. *Богатов В.В., Назаренко В.А.* Об использовании гематологических показателей для мониторинга экосистемы на примере популяции леща (*Abramis brama* L.) Верхнеульяновского плеса Куйбышевского водохранилища // Самарская Лука. – 2004. – № 15. – С. 300-302.

20. *Боговский С.П.* Этиология и распространение опухолей рыб в связи с антропогенным загрязнением // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Л., – 1997. – Вып. 321. – С. 17-28.

21. *Борисова С.П., Суханова Г.Ф., Горюнов А.С.* Влияние полихлорированных бифенилов на некоторые показатели сыворотки крови рыб // В кн.: Контроль, состояние и регуляция функций биосистем на разных уровнях организации. Петрозаводск: Институт биологии РАН. – 1993. С. 19-26.

22. *Бугаев Л.А., Засядько А.С., Ниточка О.А.* Состояние гонад, печени и крови у азовской севрюги в условиях загрязнения Азовского моря // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. молод. уч. «Современные проблемы естествознания». Владимир. – 2001. – С. 139-143.

23. *Бугаев Л.А., Ниточка О.А., Засядько А.С.* 2002. Оценка состояния производителей судака по показателям крови // Тез. докл. Всерос. Конф. молодых учёных, посвящ. 140-летию со дня рожд. Н.М. Книповича, Мурманск: Изд-во ПИНРО, – 2002. – С. 34-36.

24. *Бугаев Л.А., Рудницкая О.А., Сергеева С.Г., Ниточка О.А., Засядько А.С.* Физиологическое состояние азовского судака // Тез. докл. междунар. семинара «Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие)». Ростов н/Д: Эверест, – 2002. – С. 18-21.

25. *Бэр К. М.* Исследования о состоянии рыболовства в России. Т. 1 – 4. СПб, 1860–1862. – 97 с.

26. *Васильев А.С., Запруднова Р.А., Буйневич А.В.* Мониторинг состояния популяций леща верхневолжских водохранилищ // Матер. Всеросс. науч.-практ. конфю «Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов». Ярославль: Ярославский гос. ун-т, – 2004. – С. 192-197.

27. *Васнецов В.В.* Этапы развития костистых рыб / В кн.: Очерки по общим вопросам ихтиологии. Под ред. Е.Н. Павловского. М.-Л.: Изд-во АН СССР, – 1953. – С. 207-217.

28. *Виноградов А.Ю., Цыбульский И.Е., Корпакова И.Г.* Влияние низких концентраций пестицидов различных классов на биохимические показатели личинок и молоди рыб // Изв. вузов. Сев.-Кавк. региона. Естественные науки, – 2001. – № 4. – С. 116-118.

29. Волга: Независимые исследования. Н. Новгород, – 1994. – 77 с.

30. *Волков И.В., Заличева И.Н., Шустова Н.К., Ильмаст Т.Б.* Есть ли экологический смысл у системы общефедеральных рыбохозяйственных ПДК? // Экология. – 1996. – № 5. – С. 350-354.

31. *Выхристюк Л.А., Варламова О.Е., Марченко Н.А.* Химический состав воды и донных отложений // В кн.: Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (Биологическая индикация) / Под ред. Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберга. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1996. – С. 65-80.

32. *Гагарин В.В., Силкина О.Н., Середняков В.Е.* Влияние меди и кадмия на рост и развитие молоди карпа // Матер. Всеросс. науч. конф., посвящ. 200-летию Ярославского гос. унив. им. П.Г. Демидова. Ярославль: Ярославский гос. ун-т, – 2003. – С. 60-64.

33. *Галкина О.А., Чихачев А.С., Мацегорова Д.И.* 2002. Использование гематологических показателей у рыб для мониторинга экологического состояния прибрежной зоны Черного моря // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие): Тез. докл. междунар. семинара. Ростов н/Д: Эверест, – 2002 г. – С. 45-47.

34. *Гераскин П.П.* Нарушение обмена веществ у русского осетра в современных условиях Волго-Каспия // Кратк. тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоемов СССР». Астрахань: КаспНИРХ. – 1990. С. 60-62.

35. *Гераскин П.П.* Реакции организма каспийских осетровых (*Acipenseridae*) на загрязнение среды обитания // Дисс. на соиск. уч. ст. док. биол. наук. Астрахань, ФГБОУ ИПО Астраханский Гос. тех. Ун-т Федерал. Агенства по рыболовству РФ. – 2013. – 418 с.

36. *Гераскин П.П., Лагунова В.О.* Прогностические аспекты влияния изменений экологической обстановки в Волжском регионе на осетровых // Матер. науч. конф. «Экологические проблемы бассейнов крупных рек». Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1993. – С. 236-237.

37. *Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Шелухин Г.К., Журавлева Г.Ф., Аксенов В.П., Шевелева Н.Н.* Физиологическое состояние осетровых рыб в условиях повышенного уровня воздействия на них антропогенных факторов // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2003 год. Астрахань: КаспНИИРХ, – 2004. – С. 282-288.

38. *Голованов В.К.* Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Изд-во ПОЛИГРАФ-ПЛЮС, – 2013. – 300 с.

39. *Головина Н.А., Тромбицкий И.Д.* Гематология прудовых рыб. Кишинев: Штиинца, – 1989. – 156 с.

40. *Гольдин В.М.* Некоторые гематологические показатели рыб Камского водохранилища в связи с загрязнением промышленными стоками // Ученые записки Пермского университета. – 1975. – Вып. 338. – С. 123-131.

41. *Горбунова Г.С., Уцов С.А., Костров Б.П., Курапов А.А., Горбунова Н.В.* Изменение физиолого-биохимических показателей бычка-кругляка при воздействии сырой нефти // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2001 год. Астрахань: КаспНИРХ, – 2002. – С. 77-79.

42. Горбунова Г.С., Горбунова Н.В. Показатели крови рыб при действии продуктов нефтегазодобычи // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2003 год. Астрахань: КаспНИРХ, – 2004. – С. 98-100.

43. Горьковец О.В. Патогистологические изменения усатого гольца *Barbatula barbatula* (Linnaeus, 1758) рек бассейна Онежского озера // Тезисы докл. 12 Междунар. конф. молод. уч. «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия». Борок: ИБВВ РАН, Рыбинский дом печати, – 2002. – С. 119.

44. Горьковец О.В. Оценка состояния организма сига (*Coregonus lavaretus* L.) Онежского озера на основе гистологических исследований // Матер. 3 Междунар. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов европейского Севера». Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ РАН, – 2003. – С. 27-28.

45. Горюнова В.Б., Соколова С.А. Эколого-токсикологические исследования на осетровых рыбоводных заводах в дельте Волги // Матер. совещ. «Воспроизводство рыбных запасов». Ростов-н-Д., 28 сент.-2 окт. 1998 г. М.: Экономика и информатика, – 2000. – С. 31-32.

46. Горюнова В.Б., Шагаева В.Г., Никольская М.П. Анализ аномалий строения личинок и молоди осетровых рыб Волго-Каспийского бассейна в условиях искусственного воспроизводства // Вопросы ихтиологии. – 2000. – Т. 40, №6. – С. 804-809.

47. Горюнова В.Б., Шагаева В.Г., Никольская М.П. К вопросу о качестве молоди осетровых рыб на рыбоводных заводах в дельте Волги // Матер. III междунар. науч.-практ. конф. «Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития», Астрахань. 22-25 марта 2004 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2004. – С. 168-171.

48. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 1996 году. Вып. 4. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области / Под ред. В.А. Павловского, Г.С.

Розенберга. Самара: Ком. по охране окруж. среды Самарск. обл., – 1997. – С. 7-12.

49. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 1999 году. Вып. 9. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области / Под ред. О.Л. Носковой. Самара: Ком. по охране окруж. среды Самарск. обл., – 2000. – 103 с.

50. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Самарской области в 2000 году. Вып. 11. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области / Под ред. О.Л. Носковой. Самара: Ком. по охране окруж. среды Самарск. обл., – 2001. – 193 с.

51. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области в 2008 г. Вып. 19. / Под ред. Ю.С. Астахова, А.Е. Губернаторова, В.Н. Довбыш и др. Самара: Министерство природопользования, лесного хозяйства и окружающей среды Самарской обл., – 2009. – 344 с.

52. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области за 2011 год. Вып. 22. // Под ред. Т.Н. Сафроновой, А.П. Ардакова, И.В. Бардиновой и др. Самара: Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской обл.: изд-во «ДСМ», – 2012. – С. 71-72.

53. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Ульяновской области в 2010 году // Министерство лесного хозяйства, природопользования и экологии Ульяновской области. Ульяновск: «Корпорация технологий продвижения», – 2011. – 154 с.

54. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Ульяновской области в 2012 году // Министерство лесного хозяйства, природопользования и экологии Ульяновской области. Ульяновск: «Корпорация технологий продвижения», – 2013. – 131 с.

55. *Грищенко Л.И.* Сравнительная патоморфология, вопросы патогенеза и диагностики токсикозов и некоторых инфекционных инфекционных

болезней рыб // Автореф. на соиск. уч. степ. докт. вет. наук. / Моск. Гос. акад. вет. мед. и биотехнол. Москва, – 2004. – 34 с.

56. *Давлетьярова Р.А., Каниева Н.А., Кириллов В.Н.* Характеристика некоторых биохимических показателей и уровня содержания хлорорганических пестицидов и тяжёлых металлов в организме русского осетра в условиях прогрессирующего загрязнения // Кратк. тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоёмов СССР». Астрахань: КаспНИРХ, – 1989. – С. 75-76.

57. *Давыдов О.И., Исаев Н.М., Куравская Л.Я., Базеев Р.Е.* Роль токсического загрязнения в опухолеобразовании у рыб. Обзор // Гидробиол. журнал. – 2001. – Т. 37, № 5. – С. 81-97.

58. *Данильченко О.П.* Закономерности реагирования эмбрионов и предличинок рыб на изменение химического состава воды // Экспериментальная водная токсикология. – 1985. – № 10. – С. 98-102.

59. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году // Правительство Саратовской области. Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. Саратов. – 2013. – 224 с.

60. *Евгеньева Т.П.* Патология различных ветвей мышечной ткани осетровых рыб // Тез. докл. Междунар. конф. «Осетровое хозяйство на рубеже 21 века». Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 142-143.

61. *Евгеньева Т.П.* Особенности гистофизиологии мышечной ткани рыб // Матер. 2 Междунар. конф. по физиологии мышц и мышечной деятельности «Физиология мышц и мышечной деятельности». М.: Изд-во МГУ, – 2003. – С. 10-11.

62. *Евгеньева Т.П.* Гистофизиологические аспекты адаптаций мышечной ткани рыб к антропогенным воздействиям // Матер. Междунар. конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 6–9 сентября 2004 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ, – 2004. – С. 44, 176.

63. *Евгеньева Т.П., Басурманова О.К., Шехтер А.Б.* Дегенеративные изменения в белых мышцах русского осетра // Доклад АН СССР. – 1989. – Т. 307, № 2. – С. 462-466.

64. *Евланов И.А., Козловский С.В., Антонов П.И.* Кадастр рыб Самарской области. Тольятти: «Бузони», – 1998. – 222 с.

65. *Евланов И.А., Козловский С.В., Минеев А.К.* Этапы антропогенного воздействия на ихтиофауну Средней Волги // Взаимодействие человека и природы на границе Европы и Азии. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, – 1996. – С. 90-92.

66. *Евланов И.А., Козловский С.В., Минеев А.К.* Рыбные запасы // Экологические проблемы Среднего и Нижнего Поволжья на рубеже тысячелетий. Ситуация контроля и управления (Аналитический доклад Ассоциации «Большая Волга»). Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2000а. – С. 16-26.

67. *Евланов И.А., Козловский С.В., Розенберг Г.С.* Современное состояние рыбного хозяйства Средней волги // Матер. по докл. на заседании Ассоциации «Большая Волга». Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2000б. – 24 с.

68. *Евланов И.А., Минеев А.К., Козловский С.В.* Морфологические aberrации у молоди рыб Саратовского водохранилища в зоне действия р. Чапаевка // Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (биологическая индикация). 2-е изд., испр. Тольятти: Изд-во Самарского научного центра РАН. – 1997. – С. 202-207.

69. *Евланов И.А., Минеев А.К., Розенберг Г.С.* Оценка состояния пресноводных экосистем по морфологическим аномалиям у личинок рыб (Методическое пособие). Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1999. – 38 с.

70. *Евланов И.А., Минеев А.К., Розенберг Г.С.* Метод интегральной оценки пресноводных экосистем // Экологический мониторинг. Часть IV. Учебное пособие. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, – 2000. – С. 145-174.

71. *Есауленко А.В.* Кариотипическая дестабилизация и активность эстераз у рыб Каспийского моря в местах добычи нефти и газа // Автореф.

дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Ростов-на-Дону: Азов. НИИ рыб. хоз. – 2004. – 25 с.

72. *Есауленко А.В., Косякова Г.П., Курапов А.А.* Частота микроядер и аномалий ядер эритроцитов трёх семейств промысловых рыб // Материалы конф., посвящ. 100-летию научной секции в России. Москва, 9–11 декабря 2003 г. М.: Всеросс. НИИГРСЖ, – 2003. – С. 64-65.

73. *Житенева Т.С.* Идентификация этапов развития в позднем онтогенезе леща разных популяций по морфологическим признакам. Борок: ИБВВ РАН, – 1993. – 16 с.

74. *Житенева Л.Д., Рудницкая О.А., Калюжная Т.И.* Эколого-гематологические характеристики некоторых видов рыб. Справочник. Ростов н/Д: АзНИИРХ, – 1997. – 149 с.

75. *Жукинский В.Н.* Влияние абиотических факторов на разнокачественность и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе. М.: Агропромиздат, – 1986. – 248 с.

76. *Журавлева Г.Ф.* Морфофункциональные основы адаптивной модификации осетровых при эндоэкологическом токсикозе // Успехи соврем. естествознания. – 2003. – № 3. – С. 68.

77. *Журавлева Г.Ф., Земков Г.В., Федорова Н.Н., Парицкий Ю.А.* Морфофункциональные аспекты адаптации организма рыб к современным условиям Волго-Каспийского бассейна // Тез. докл. симп., посвящ. 90-летию со дня рожд. Н.А. Гербильского (1900–1990) «Экологические и морфофункциональные основы адаптации гидробионтов». Л.: Изд-во ЛГУ, – 1990. – С. 114-116.

78. *Журавлева Г.Ф., Романов А.А., Земков Г.В.* Полифункциональная характеристика гонадогенеза осетровых Каспия в современной эколого-токсикологической обстановке // 4 Всесоюз. конф. «Эндокринная система организма и вредные факторы окружающей среды». Л.: Науч. совет АН СССР и АМН СССР по физиол. наукам, – 1991. – С. 88.



79. *Журавлева Н.Г.* Влияние абиотических и биотических факторов среды на выживаемость эмбрионов и молоди рыб // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12, № 2. – С. 338-343.

80. *Заботкина Е.А., Камшилова Т.Б., Комов В.Т.* Некоторые гематологические характеристики окуня (*Perca fluviatilis*) из водоемов северо-запада России // Мат-лы междунар. конф. Озёра холодных регионов. Ч. 5. Вопросы ресурсоведения, ресурсопользования, экологии и охраны. Якутск: Изд-во ЯГУ, – 2000. – С. 31-38.

81. *Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б.* Влияние кадмия на структурно-функциональное состояние иммунокомпетентных органов карпа // Матер. Междунар. конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 6–9 сентября 2004 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ, – 2004. – С. 46-47.

82. *Зайцев В.Ф., Федорова Н.Н., Шипулин С.В., Ложниченко О.В., Алтуфьева Н.С.* Степень патологических повреждений клеток печени и поджелудочной железы осетровых в современных экологических условиях // Естественные науки. – 2001. – № 3. – С. 30-35.

83. *Захаров В.М., Кларк Д.М.* Биотест: Интегральная оценка здоровья водных экосистем и отдельных видов. М.: Московское отделение Международного фонда «Биотест», – 1993. – 68 с.

84. *Земков Г.В., Журавлева Г.Ф.* Патоморфологические изменения в организме осетровых как отражение современных экологических условий обитания // Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, – 1997. – 516 с.

85. *Земков Г.В., Журавлева Г.Ф.* Кинетика патологических изменений при кумулятивном токсикозе в организме как критерий сопротивляемости популяции рыб // Успехи современного естествознания. – 2004а. – № 1. – С. 41-47.

86. *Земков Г.В., Журавлева Г.Ф.* Теоретические аспекты эпигенного наследования в процессе регенерации в печени каспийских осетровых // Фундаментальные исследования. – 2004б. – № 3. – С. 32-34.

87. *Зинченко Т.Д.* Биоиндикация природных и техногенных гидросистем Волжского бассейна на примере хирономид (Diptera: chironomidae). Дисс. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук. Тольятти, ИЭВБ РАН, – 2004. – 527 с.

88. *Зинчук О.А.* Определение степени токсичности различных ксенобиотиков для эмбрионов осетровых рыб // Тез. докл. 8 съезда Гидробиол. общества РАН. Калининград, 16–23 сентября 2001 г. Калининград: АтлантНИРО, – 2001. – С. 128-129.

89. *Игумнова Л.В., Сухопарова А.Д., Дубинин В.И., и др.* Патологическое состояние производителей и молоди осетровых Нижней Волги // Рыбное хозяйство. – 1990. – № 6. – С. 65-66.

90. *Иванова Н.Т.* Метод морфологического анализа крови в ихтиопатологических исследованиях // Изв. ГосНИОРХ. – 1977. – № 5. – С. 114-117.

91. *Иванова Н.Т.* Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М.: Легкая и пищевая промышленность, – 1983. – 184 с.

92. *Исаков И.В.* Влияние загрязнённых нефтью донных грунтов на структуру органов и тканей карпа *Cyprinus carpio* (Linnaeus) // Тезисы докл. 12 Междунар. конф. молод. уч. «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия». Борок, 23–26 сентября 2002 г. Борок: ИБВВ РАН, Рыбинский дом печати, – 2002. – С. 124-125.

93. *Исуев А.Р., Габибов М.М., Курбанова И.К.* Некоторые показатели жизнедеятельности рыб при нефтяном загрязнении водной среды // Материалы Междунар. науч. конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах». М.: МГУ, – 2002. – С. 120.

94. *Калинина М.В.* Картина крови молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) как индикатор загрязнения водоемов тяжелыми металлами // Материалы Междунар. науч. конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах». М.: МГУ, – 2002. – С. 123.

95. *Каниева Н.А.* Изменение гематологических показателей карпа при интоксикации диэтаноломином // Вестник Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства. – 1993. – № 1. – С. 85-87.

96. *Каниева Н.А.* Изменение гематологических показателей у рыб в зависимости от уровня сублетальных концентраций нефти // Материалы Междунар. конф. «Современные проблемы Каспия». Астрахань: КаспНИРХ, – 2002. – С. 130-132.

97. *Каниева Н.А.* Метаболические изменения в организме карпов под влиянием нефти // Материалы 2 Междунар. науч.-практ. конф. «Человек и животные». Астрахань: Астраханский гос. технич. ун-т, – 2004а. – С. 77-79.

98. *Каниева Н.А.* Перекисное окисление липидов и гистологическая организация печени карпа под влиянием нефти // Материалы 2 Междунар. науч.-практ. конф. «Человек и животные». Астрахань, 13–14 мая 2004 г. Астрахань: Астраханский гос. технич. ун-т, – 2004б. – С. 74-76.

99. *Каниева Н.А.* Биохимические показатели адаптивных реакций в организме карпа под влиянием нефти // Матер. 2. Междунар. заоч. науч. конф. «Проблема сохранения и рационального использования биоразнообразия Прикаспия и сопредельных регионов». Элиста: КГУ, – 2004в. – С. 138-140.

100. *Каниева Н.А., Антонова Л.Ю., Сентюрова Л.Г.* Патоморфологический анализ органов и тканей личинок севрюги при отравлении диэтаноломином // Кратк. тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоёмов СССР». Астрахань: КаспНИРХ, – 1989. – С. 128-129.

101. *Касимов Р.Ю., Рустамов Э.К.* Морфологические изменения в структурах конечного мозга осетровых рыб при воздействии сырой нефти. М.: Легкая и пищевая промышленность, – 1989. – С. 126.

*Касимов Р.Ю., Крючков В.И.* Оплодотворяемость икры и развитие зародышей осетровых рыб при нефтяном воздействии // 4 всесоюзная

конференция по раннему онтогенезу рыб. Ч. 1. М.: ВНИРО, – 1988. – С. 126-127.

102. *Касьянов А.Н.* Изменчивость признаков осевого скелета плотвы после воздействия токсических веществ в ранний период индивидуального развития // Матер. 11 Междунар. симп. по биоиндикаторам «Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга». Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, – 2001. – С. 75-76.

103. *Кашулин Н.А.* Ответные реакции сига *Coregonus lavaretus* (L) на загрязнение тяжёлыми металлами // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии». Петрозаводск: Апатиты, – 1999. – С. 132-133.

104. *Кесслер К.Ф.* Труды императорского вольно-экономического общества // С.-Петербург: Типография товарищества “Общественная польза”, – 1863. – Т. 2. – С. 1-25.

105. *Кижеватов Я.А., Копориков А.Н.* Оценка состояния реки Чусовой по ихтиологическим критериям // Матер. конф. «Механизмы поддержания биологического разнообразия». Екатеринбург: Изд-во Екатеринбург, – 1995. – С. 68-71.

106. *Кириллов В.Н.* Цитоморфофункциональные критерии токсичности диэтанолamina для рыб // Вестник Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства. – 1993. – № 1. – С. 71-73.

107. *Кирпичников В.С.* Генетические основы селекции рыб. Л.: Наука, – 1979. – 392 с.

108. *Кирпичников В.С.* Генетика и селекция рыб. Второе издание. Л.: Наука, – 1987. – 520 с.

109. *Клювач Н.В.* Антропогенное воздействие как причина дегенерации мышц у рыб // Рыбное хозяйство. – 2002. – № 6. – С. 38-39.

110. *Клямторин Л.Б.* Экологические аспекты ихтиотоксикологии // Рыбное хозяйство. – 1988. – № 8. – С. 90-91.

111. *Кобегенова С.С., Жимбей Е.Н.* Особенности гистологии печени, почек, мышц и жабр каспийских осетровых в современный период // Тез. докл. Междунар. конф. «Осетровые на рубеже 21 века». Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 150-151.

112. *Коблицкая А.Ф.* Определитель молоди пресноводных рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, – 1981. – 208 с.

113. *Кокоза А.А.* Динамика устойчивости осетровых рыб к фенолу на ранних стадиях оогенеза // В кн.: Вопросы водной токсикологии. М.: Наука, – 1970. – С. 168-171.

114. *Кокуричева М.П.* Методическое пособие по проведению гистологических исследований органов и тканей рыб в водной токсикологии. Л.: Наука, – 1976. – 52 с.

115. *Кондратьева И.А., Киташова А.А.* Функционирование и регуляция иммунной системы рыб // Иммунология. – 2002. – Т. 23, № 2. – С. 97-101.

116. *Корниенко Г.Г.* Эколого-физиологические аспекты биологии репродукции рыб Азовского бассейна // Матер. Междунар. конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 6–9 сентября 2004 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ, – 2004. – С. 68-69.

117. *Королева И.М.* Использование морфологических и гематологических показателей при оценке состояния популяций рыб // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии». Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск: Апатиты, – 1999. – С. 133-134.

118. *Котов А.М.* Сезонная динамика гематологических показателей у некоторых черноморских рыб и их изменение при экспериментальном отравлении нефтепродуктами // Гидробиологический журнал. – 1976. – Вып. 12, № 4. – С. 63-68.

119. *Крылов О.Н.* Зависимость заболевания рыб на р. Каме и Камском водохранилище от гидрологических и гидрохимических факторов среды // Мат-лы XI науч. конф. Ленинградск. Ветеринар. Ин-та. – 1962. – С. 36-42.

120. *Крылов О.Н.* Методические указания по гематологическому обследованию рыб в водной токсикологии. Л.: ГосНИОРХ, – 1974. – 39 с.

121. *Кудренкова М.П.* Особенности строения почки производителей севрюги в современных экологических условиях // Матер. Северо-Кавказской региональной науч. конф. молод. уч. аспирантов и студ. «Перспектива – 2001». Нальчик: Изд-во КБГУ, – 2001. – С. 32-34.

122. *Кузнецов В.А.* Особенности воспроизводства рыб в условиях зарегулированного стока. Казань: Изд-во Казанского ун-та, – 1978. – 166 с.

123. *Кузнецов В.А.* Анализ промыслового вылова рыбы в Куйбышевском водохранилище в 90-е годы XX столетия // Актуальные экологические проблемы республики Татарстан. Казань: Изд-во Казанского ун-та, – 2000а. – С. 60–61.

124. *Кузнецов В.А.* Признаки дестабилизации в рыбном сообществе Куйбышевского водохранилища // Актуальные экологические проблемы республики Татарстан. Казань: «Новое знание», – 2000б. – С. 60.

125. *Кузнецова Е.В.* Патология поджелудочной железы некоторых видов сиговых рыб Ладожского озера и р. Вуоксы // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии». Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск: «Апатиты», – 1999. – С. 136-137.

126. *Кузьмин А.Н., Чуватова А.М.* Развитие половых желёз у самок невского проходного сига (*Coregonus lavaretus* L.) // Изв. ГосНИОРХ. – 1975. – Т. 104. – С. 130-139.

127. *Курбанова И.К., Исыев А.Р., Габиров М.М.* Влияние нефтяного загрязнения водной среды на некоторые показатели белкового обмена

мальков кутума *Rutilus frisii kutum* (Cyprinidae) // Вопросы ихтиологии. – 2004. – Т. 44, № 5. – С. 700-708.

128. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, – 1990. – 293 с.

129. *Лапирова Т.Б., Заботкина Е.А., Балабанова Л.В., Микряков В.Р., Назарова Е.А. Бубенкова Е.В.* Реакция иммунной системы карпа на действие сублетальной концентрации кадмия // Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. “Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов”. Ярославль, 16–17 декабря 2004 г. Ярославль: Ярославский гос. ун-т, – 2004. – С. 229-234.

130. *Лебедева О.А., Тихомирова Л.И., Филлипова Г.П., Завьялова М.Н.* Изменения в характере эмбриогенеза карася: долгосрочные наблюдения и экспериментальные исследования // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313, № 1. – С. 196-199.

131. *Леви Л.А.* Гистологические изменения в паренхиматозных органах форели под воздействием бензола, тулуола и стирола // Материалы XXVI конференции по изучению внутренних водоёмов Прибалтики. Ч. 1. Петрозаводск: Апатиты, – 1971. – С. 325-326.

132. *Лепилина И.Н.* Нарушения в раннем онтогенезе осетровых // Тез. докл. V Всес. конф. по раннему онтогенезу рыб. М.: ВНИРО, – 1991. – С. 161-162.

133. *Лепилина И.Н., Романов А.А.* Гистоморфологические нарушения у волжской стерляди в современных экологических условиях // Экология. – 2005. – № 2. – С. 157-160.

134. *Лепилина И.Н., Федорова Н.Н.* Изменения развития опорно-двигательной системы предличинки севрюги под влиянием антропогенных факторов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Экология: Сборник научных трудов. Астрахань, – 2002. – С. 143-149.

135. *Ложичевская Т.В., Ружинская Л.П., Дорошева Н.Г., Рудницкая О.А.* Физиологическое состояние пиленгаса в Азовском море // Тез. докл.

междунар. семин. “Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие)”. Ростов-на-Дону, 11–13 сентября 2002 г. Ростов н/Д.: Эверест, – 2002. – С. 110-111.

136. *Ложниченко О.В.* Влияние антропогенного загрязнения волжской воды на состояние эпителия жабр личинок и мальков растительноядных рыб // Матер. обл. науч. конф. студ. и молод. уч. “Экологические проблемы и их междисциплинарное исследование”. Астрахань, 29 мая 1997 г. Астрахань: Астраханский Гос. тех. ун-т, – 1997. – С. 78-79.

137. *Ложниченко О.В., Куренкова М.П., Федорова Н.Н.* Состояние селезёнки севрюги в современных экологических условиях // Матер. 3 Всерос. науч. конф. «Эколого-биологические проблемы Волжского региона и Северного Прикаспия». Астрахань, 4–6 октября 2000 г. Астрахань: Изд-во Астраханского гос. пед. ун-та, – 2002. – С. 184-186.

138. *Лугаськов А.В.* Феномен массовых морфологических aberrаций в техногенном водоеме // В кн.: Фенетика природных популяций. М.: «Легкая и пищевая промышленность». – 1990. – С. 166-167.

139. *Лугаськова Н.В., Насыров Р.А.* Адаптивные особенности системы крови окуня и линя в условиях загрязнения и эвтрофикации водоемов // Сибирский экологический журнал. – 2001. – Т. 8, № 6. – С. 735-739.

140. *Лукин А.А., Шарова Ю.Н.* Патологии микроструктуры генеративных органов самок сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра // Вопросы ихтиологии. – 2002. – Т. 42, № 1. – С. 114-120.

141. *Лукьяненко В.И.* Общая ихтиотоксикология. М.: Легкая и пищевая промышленность, – 1983. – 320 с.

142. *Лукьяненко В.И.* Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: Агропромиздат, – 1987. – 239 с.

143. *Лукьяненко В.И.* Феномен расслоения мышечной ткани и ослабления оболочки икры у осетровых рыб // Кратк. тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоёмов СССР». Астрахань: КаспНИРХ, – 1989. – С. 262.



144. *Лукьяненко В.И.* Физиолого-биохимический статус Волго-Каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани (кумулятивный токсикоз) // Сб. АН СССР. Рыбинск: Институт биологии внутренних вод, – 1990. – С. 207-209.

145. *Лукьяненко В.И.* Рыбные запасы бассейна р. Волги // Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования. Тольятти: Изд-во СНЦ РАН, – 1996. – С. 47-54.

146. *Макеева А.П.* Эмбриология рыб. М.: Изд-во Московского ун-та, – 1992. – 216 с.

147. *Мартемьянов В.И.* Стресс у рыб: защитные и повреждающие процессы // Биология внутренних вод. – 2002. – № 4. – С. 3-13.

148. *Матей В.Е.* Изменение ультраструктуры клеток жаберного эпителия при действии на рыб кадмия // Цитология. – 1993. – Т. 35, № 6-7. – С. 34-41.

149. *Матей В.Е., Комов В.Т.* Действие алюминия и низких значений рН воды на ультраструктуру жабр и содержание электролитов в плазме крови молоди сёмги // Ж. эволюция, биохимия и физиология. – 1992. – Т. 28, № 5. – С. 596-603.

150. *Махотин Ю.М.* Эффективность нереста рыб в Куйбышевском водохранилище и определяющие ее факторы // Вопросы ихтиологии. – 1977. – Т. 17, Вып. 1 (102). – С. 27-38.

151. *Метелев В.В.* Токсичность и некоторые вопросы механизма действия пропанида на организм рыб // Труды ВНИИ ветеринарной санитарии. – 1974. – Вып. 50. – С. 72-75.

152. *Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Л.А.* Реакция иммунной системы на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, – 2001. – 126 с.

153. *Микозина Е.В., Кузнецова У.Н., Седов С.И., Ключерева Н.Г., Седова Н.А., Седова П.С.* Состояние половых желёз каспийских осетровых //

Материалы Междунар. конф. «Современные проблемы Каспия». Астрахань, 24–25 декабря 2002 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2002. – С. 208-212.

154. *Минеев А.К.* Оценка состояния водоёмов Средней и Нижней Волги по рыбной части сообщества // Дисс. ... канд. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2001. – 146 с.

155. *Минеев А.К.* Встречаемость морфологических аномалий у взрослых рыб Саратовского водохранилища // Тез. школы-конференции молодых ученых. Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, – 2003. – С. 121.

156. *Минеев А.К.* Индекс состояния сообществ личинок рыб (ИСС) как показатель экологического состояния водной среды // Изв. СНИЦ РАН. – 2005. – Спецвып. 4. – С. 306-313.

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

158. *Минеев А.К.* Встречаемость аномальных личинок рыб среди молоди Саратовского водохранилища в различных районах водоема // Матер. Междунар. науч. конф. «Ихтиологические исследования на внутренних водоемах». Саранск: Изд-во МордовГУ, – 2007б. – С. 114-116.

159. *Минеев А.К.* Некоторые гистологические нарушения гонад у головешки-ротана (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) и бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища / Изв. СНИЦ РАН. – 2009. – Т. 11, № 1-1. – С. 185-191.

160. *Минеев А.К.* Морфологические аномалии у молоди рыб Саратовского водохранилища в районе Балакавской АЭС // Матер. Междунар. конф. «Проблемы экологии в современном мире в свете учения В.И. Вернадского». Т.2. Тамбов: Изд-во ТГУ, – 2010. – С. 79-83.

161. *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 // Изв. СЦ РАН. – 2011а. – Т. 13, № 1-1. – С. 203-206.

162. *Минеев А.К.* Гистологическая картина новообразований у молоди рыб Средней и Нижней Волги // Изв. СЦ РАН. – 2011б. – Т. 13, № 5-1. – С. 242-248.

163. *Минеев А.К.* Некоторые гематологические параметры у ротаноголовешки (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) из озер Круглое и Пляжное Самарской области // Российский журнал биологических инвазий. – 2012а. – № 1. – С. 58-72.

164. *Минеев А.К.* Морфологические аномалии у рыб Саратовского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2012б. – № 6. – С. 54-60.

165. *Минеев А.К.* Новообразования у молоди рыб Саратовского водохранилища // Вестник ННГУ. – 2012в. – № 2(3). – С. 149-155.

166. *Минеев А.К.* Видовой состав и морфофункциональные отклонения молоди рыб р. Большой Черемшан // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Окружающая среда: эффективное природопользование и здоровье человека». г. Сибай, 11–12 апреля 2013 г. Сибай: ГУП РБ «Сибайская городская типография», – 2013а. – С. 67-70.

167. *Минеев А.К.* Патологии внутренних органов окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) Саратовского водохранилища // Вестник Тамбовского Университета. – 2013б. – Т. 18, вып. 3. – С. 883-885.

168. *Минеев А.К.* Патологии некоторых органов у бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища // Вестник ННГУ. – 2013в. – № 4 (1). – С. 153-157.

169. *Минеев А.К.* Морфологические аномалии молоди у рыб Саратовского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2013. – № 6. – С. 67-73.

170. *Минеев А. К.* Некоторые гематологические параметры бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) Саратовского водохранилища

[Текст] / А. К. Минеев // Известия СНЦ РАН. – 2013д. – Т. 15, № 3-1. – С. 222-228.

171. *Минеев А.К.* Неспецифические реакции у рыб из водоемов Средней и Нижней Волги // Известия СНЦ РАН, – 2013е. – Т. 15, № 3-7. – С. 2301-2318

172. *Минеев А.К.* Морфофункциональные изменения у плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) Саратовского водохранилища // Вопросы рыболовства. – 2014. – Т. 15, № 2. – С. 282-298.

173. *Минеев А.К., Евланов И.А., Козловский С.В.* Морфологические aberrации у личинок рыб Саратовского водохранилища // Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, – 1997. – С. 160.

174. *Минеев А.К., Евланов И.А., Козловский С.В.* Оценка “здоровья” экосистемы р. Волга по состоянию рыбной части сообщества // Экологическое состояние бассейна крупных рек – 2. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1998. – С. 223.

175. *Минеев А.К., Евланов И.А.* Состояние водоемов Волго-Ахтубинской поймы за 1996 – 1998 годы // Известия Самарского научного центра РАН. – 2000. – № 2. – С. 252-256.

176. *Минеев А.К., Калинин Е.А.* Видовой состав и морфологические аномалии молоди рыб из двух малых рек Удмуртской республики // Биология: науки о земле. Вестник Удмуртского Университета. – 2013. – № 6-1. – С. 92-98.

177. *Михайлова Л.П.* Действие водорастворимой фракции усть-балыкской нефти на ранний онтогенез стерляди // Гидробиология животных. – 1991. – Т. 27, № 3. – С. 77-86.

178. *Михайлова Л.П.* Основные результаты исследования состояния клеток крови *Salmo trutta* L.P. на фоне токсических воздействий // Юж.-рос. вестн. геол., геогр. и глобал. энергии. – 2004а. – № 1. – С. 90-92.

179. Михайлова Л.П. Патологические изменения в почках *Salmo trutta* L.P. под влиянием хронической интоксикации // Юж.-рос. вестн. геол., геогр. и глобал. энергии. – 2004б. – № 2. – С. 68-70.

180. Моисеева Е.Б., Фёдоров С.И., Парфёнова Н.А. О нарушениях строения половых желез у самок осетровых (*Acipenseridae*) Азовского моря // Вопросы ихтиологии. – 1997. – Т. 37, № 5. – С. 660-666.

181. Моисеенко Т.И. Влияние сточных вод на экосистемы Севера и их рыбные запасы // Ихтиология, гидробиология, гидрохимия, энтомология и паразитология. «Биологические проблемы Севера». Вып. 4. Якутск. – 1986. – С. 47-48.

182. Моисеенко Т.И. Состояние популяций лососевых и сиговых рыб в условиях загрязнения субарктического водоема (на прим. оз. Имандра) // Матер. Всесоюз. Совещ. по лососевидным рыбам. Тольятти: ИЭВБ АН СССР, – 1988. – С. 206-207.

183. Моисеенко Т.И. Адаптивный ответ популяций сига на антропогенный стресс // Биология и биотехнология разведения сиговых рыб. С.-П.: Наука, – 1994. – С. 100-101.

184. Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, – 1997. – 261 с.

185. Моисеенко Т.И. Стратегия адаптивных ответов организмов и популяций рыб на антропогенный стресс // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии». Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск: Апатиты, – 1999. – С. 143, 282.

186. Моисеенко Т.И. Морфологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С.С. Шварца) // Экология. – 2000. – № 6. – С. 463-472.

187. *Моисеенко Т.И.* Водная экотоксикология: монография. М.: Наука, – 2009. – 400 с.
188. *Моисеенко Т.И., Лукин А.А., Кашулин Н.А.* Сиг как тест-объект для биоиндикации качества вод озёр Крайнего Севера // Тез. докл. междунар. конф. «Биологические проблемы Севера: Современные проблемы сиговых рыб». Владивосток: ДВО АН СССР, – 1991. – С. 213-224.
189. *Моисеенко Т.И., Гашев С.Н., Селюков А.Г. и др.* Биологические методы оценки качества вод: Часть 1. Биоиндикация // Вестник Тюменского гос. ун-та. – 2010. – № 7. – С. 20-40.
190. *Мохно П.М., Котова Н.П.* Изучение токсического действия нитратов и нитритов на сеголетков карпа // Труды ВНИИ эксперим. вет. – 1990. – Т. 68. – С. 136-140.
191. *Мячина Л.Я.* Влияние нефтяного загрязнения на состояние крови рыб Среднего Поволжья // Экологические исследования в Среднем Поволжье. Куйбышев: КГУ, – 1986. – С. 133-135.
192. *Никольский Г.В.* Экология рыб. Издание 3-е, доп. М.: Высшая школа, – 1974. – 357 с.
193. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2009 г.: Государственный доклад. Ижевск // Под ред. А.Н. Кокорина. Сарапул: «Сарапульская типография», – 2010. – 228 с.
194. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2011 г.: Государственный доклад. Ижевск. // Под ред. А.Н. Кокорина. Сарапул: «Сарапульская типография», – 2012. – 246 с.
195. О состоянии и об охране окружающей среды в Удмуртской Республике в 2012 г.: Государственный доклад. Ижевск. // Под ред. А.Н. Кокорина. Сарапул: «Сарапульская типография», – 2013. – 246 с.
196. *Обухов Д.К., Крючков В.И.* Исследование влияния нефтяного загрязнения на морфо-функциональное развитие молоди осетровых рыб // Вопросы рыболовства. – 2000. – Т. 1, № 1. – С. 6-9.

197. *Обухов Д.К., Крючков В.И.* Морфофункциональное исследование длительного воздействия низких концентраций нефти на развитие ЦНС и организма мальков рыб // *Материалы Всерос. конф. «Механизмы синаптической передачи»*, Москва, 2004 г. С.-П.: Ин-т физиол. им. И.П. Павлова РАН, – 2004. – С. 65.

198. *Овен Л.С.* Резорбция вителлогенных ооцитов как индикатор состояния популяций черноморских рыб и среды их обитания // *Вопросы ихтиологии.* – 2004. – Т. 44, № 1. – С. 124-129.

199. *Павлов Д.С., Савваитова К.А., Соколов Л.И., Алексеев С.С.* Редкие и исчезающие животные. Рыбы. М.: Высшая школа, – 1994. – 334 с.

200. *Павлов Д.С., Савваитова К.А., Груздева М.А. и др.* Разнообразие рыб Таймыра: Систематика, экология, структура видов как основа биоразнообразия в высоких широтах, современное состояние и условия антропогенного воздействия. М.: Наука, – 1999. – 207 с.

201. *Пауков В.С., Хитров Н.К.* Патология. М.: Наука, – 1999. – 345 с.

202. *Перевозников М.А., Светашова Е.С.* Особенности накопления нефтепродуктов и ионов тяжёлых металлов в органах рыб при аварийных разливах нефти // *Материалы Междунар. науч. конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах»*. Москва, 27–29 мая 2002. М.: МГУ, – 2002. – С. 207.

203. *Петров Б.Г.* Куйбышевское водохранилище. Географические аспекты водоохранных мероприятий. М.: Экопресс, – 2004. – 320 с.

204. *Пескова Т.Ю.* 2004. Адаптационные изменения земноводных в антропогенно загрязнённой среде: Дис. на соиск. науч. ст. док. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 284 с.

205. *Плохинский Н.А.* Биометрические методы. М.: Изд-во МГУ, – 1970. – 336 с.

206. *Поддубный А.Г.* О продолжительности периода формирования стад рыб в волжских водохранилищах // *Биологические аспекты изучения водохранилищ.* М.–Л.: Наука, – 1963. – С. 178-183.

207. *Поддубный А.Г., Козловский С.В.* Ихтиофауна // Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, – 1983. – С. 148-170.

208. *Попов О.И., Саломатина Т.В., Чавычалова Н.И.* Морфологические aberrации молоди полупроходных рыб как индикатор загрязнения дельты Волги // Матер. Междунар. науч. конф. “Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы”. Тольятти, 23–27 апреля 2001 г. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2001. – С. 168.

209. *Попова О.А., Решетников Ю.С., Терещенко В.Г.* Мониторинг и оценка состояния рыбной части сообщества пресноводных экосистем // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. С.-П.: Ин-т озероведения РАН, – 2007. – С. 303-309.

210. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, – 1966. – 376 с.

211. *Привольнев Т.И.* Критические периоды при постэмбриональном развитии рыб // Изв. ВНИОРХ. – 1947. – Т. 29. – С. 118-142.

212. *Провда Н.О.* Синтетические поверхностно-активные вещества // Вопросы медицинской химии. – 1998. – Т. 25, вып. 6. – С. 98-117.

213. *Решетников Ю.С.* Современное состояние и перспективы изменения запасов сиговых рыб // Биология сиговых рыб. М.: Наука, – 1988. – С. 5-17.

214. *Решетников Ю.С.* Метод экспертной оценки состояния особи и популяции сиговых рыб // Биология и биотехника разведения сиговых рыб. СПб.: Изд. ГосНИОРХ, – 1994. – С. 115-118.

215. *Решетников Ю.С.* Современные проблемы изучения сиговых рыб // Вопросы ихтиологии. – 1995. – Т. 35, № 2. – С. 156-174.

216. *Решетников Ю.С., Акимова Н.В., Рубан О.А.* Аномалии в системе воспроизводства рыб Кольского полуострова при антропогенном воздействии // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной



Фенноскандии». Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск: Апатиты, – 1999. – С. 155, 285-286.

217. *Решетников Ю.С., Попова О.А.* Оценка состояния пресноводных экосистем по состоянию рыбной части сообщества. М.: ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, – 1997. – 25 с.

218. *Решетников Ю.С., Попова О.А.* Рыбы как тест-объект для оценки состояния экосистем // Матер. Всеросс. конф. с междунар. участием «Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов». Борок: ИБВВ РАН, – 2012. – С. 308-312.

219. *Решетников Ю.С., Попова О.А.* Оценка состояния лососевых рыб в водоемах Европейского Северо-Востока // Расширенные матер. IV Междунар. конф. «Проблемы иммунологии, патологии, охраны здоровья рыб и других гидробионтов». Борок, 24-27 сент. 2015 г. Ярославль: Филигрань, – 2015. – С. 94-100.

220. *Решетников Ю.С., Попова О.А., Кияшко В.И., и др.* Обыкновенный ёрш *Gymnoscephalus cernius* (Linnaeus, 1758). Систематика, морфология, образ жизни и роль ерша в экосистемах (Ред. Ю.С. Решетников, О.А. Попова). М.: Тов-во научных изданий КМК, – 2016. – 279 с.

221. *Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. и др.* Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема: монография. М.: Наука, – 1982. – 248 с.

222. *Розенберг Г.С., И.А. Евланов И.А., Селезнёв В.А., Минеев А.К., Селезнёва А.В., Шитиков В.К.* Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги) // Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии Гидробиологического общества РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва: Товарищество научных изданий КМК, – 2011. – С. 5-29.

223. *Романов А.А.* Нарушения морфогенеза половых желёз, половых клеток, печени осетровых Каспия в морской период жизни // Тез. докл. симп.,

посвящ. 90-летию со дня рожд. Н.А. Гербильского (1900–1990) «Экологические и морфофункциональные основы адаптации гидробионтов». Л.: Изд-во ЛГУ, – 1990. – С. 83-85.

224. Романов А.А. Гонадо-гаметогенез каспийских осетровых (морфофункциональные аспекты) // Тез. докл. Междунар. конф. «Осетровое хозяйство на рубеже 21 века». Астрахань, 11–15 сентября 2000 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 185-186.

225. Романов А.А. К вопросу о нарушениях воспроизводительной системы каспийских осетровых и нижеволжской стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) // Сб. науч. труд. «Вестник Астраханского технического университета. Экология». Астрахань: КаспНИРХ, – 2002. – С. 140-142.

226. Романов А.А., Романов Ал.А., Беляева Е.С. Мониторинг гистоморфологических нарушений гонадо-гаметогенеза осетровых рыб Волго-Каспийского региона // Экология молодежи и проблемы воспроизводства каспийских рыб: Сборник научных трудов / КаспНИРХ. М.: Наука, – 2001. – С. 246-268.

227. Романов А.А., Шевелева Н.Н., Алтуфьев Ю.В. К вопросу о нарушениях морфогенеза печени осетровых Каспийского моря // Кратк. тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоёмов СССР». Астрахань: КаспНИРХ, – 1989. – С. 282-284.

228. Романов А.А., Шевелева Н.Н., Алтуфьев Ю.В. Нарушение гонадо-и гаметогенеза осетровых Каспийского моря // Физиолого-биохимический статус Волго-Каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани (кумулятивный политоксикоз): Сб. АН СССР. Рыбинск: Институт биологии внутренних вод, – 1990. – С. 92-100.

229. Роскин Г.И., Левинсон Л.Б. Микроскопическая техника. М.: Советская наука, – 1957. – 478 с.

230. Руднева И.И., Залевская И.Н. Личинки атерины (*Atherina hepsetus* L.) как биоиндикаторы загрязнения прибрежных акваторий Черного моря // Экология. – 2004. – № 2. – С. 107-112.

231. *Рудницкая О.А., Бугаев Л.А.* Состояние репродуктивной системы, печени и крови у азовской севрюги в море // Тез. докл. 8-го съезда Гидробиол. о-ва РАН. Калининград, 16–23 сентября 2001 г. Калининград: АтлантНИРО, – 2001. – С. 169-170.

232. *Рудницкая О.А., Бугаев Л.А., Ниточка О.А., Засядько А.С.* Мониторинг состояния производителей судака по показателям крови // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие): Тез. докл. междунар. семинара. Ростов-на-Дону, 11-13 сентября 2002 г. Ростов н/Д.: Эверест, – 2002. – С. 143-145.

233. *Рудницкая О.А., Житенева Л.Д., Клименченко М.В.* Гематологический мониторинг азовских осетровых // Тез. докл. Междунар. Конф. Осетровые на рубеже XXI века. Астрахань, 11–15 сентября 2000 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 186-187.

234. *Рудницкая О.А., Житенева Л.Д., Сергеева С.Г.* Исследование нарушений физиологического статуса производителей судака и тарани // Тез. докл. 8 съезда Гидробиол. общества РАН. Калининград, 16–23 сентября 2001 г. Калининград: АтлантНИРО, – 2001. – С. 137-138.

235. *Сабуров Г.Е., Пушкова Н.К.* Новые данные к механизму действия некоторых токсических веществ // Тез. докл. «Физиологические аспекты токсикологии». Ярославль: Ярославский гос. ун-т, – 1989. – С. 118-124.

236. *Савваитова К.Л., Чеботарева Ю.В., Пичугин Т.М., Максимов С.В.* Аномалии в строении рыб как показатели состояния природной среды // Вопросы ихтиологии. – 1995а. – Т. 35, № 2. – С. 182-188.

237. *Савваитова К.Л., Чеботарева Ю.В., Пичугин Т.М., Максимов С.В.* Аномалии в строении рыб в водоемах с различным уровнем загрязнения // Вопросы ихтиологии. – 1995б. – Т. 42, № 3. – С. 164-170.

238. *Савицкая Ю.С.* Содержание тяжёлых металлов в некоторых органах рыб при антропогенном загрязнении // Матер. Междунар. конф. и выезд. науч. секции Отделения общ. Биол. РАН «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного

покрова Восточной Фенноскандии». Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск: «Апатиты», – 1999. – С. 158-159.

239. *Селезнев В.А., Цыкало В.А., Сергиенко Т.С.* Содержание марганца в поверхностных водах Самарской области // В кн.: 10 лет Государственному комитету по охране окружающей среды Самарской обл. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской обл. Вып. 6. / Под ред. В.А. Павловского, Г.С. Розенберга. Самара: Ком. по охране окруж. среды Самарск. обл., – 1998. – С. 108-116.

240. *Селюков А.Г.* Морфофункциональные изменения рыб бассейна средней и нижней Оби в условиях возрастающего антропогенного влияния // Вопросы ихтиологии. – 2012. – Т. 52, № 5. – С. 581-600.

241. *Селюков А.Г., Вторушин М.Н., Исаков П.В., Коев А.В.* Патоморфологические изменения некоторых органов рыб реки Туру на примере плотвы – *Rutilus rutilus lacustris* (Pallas) // Вестник Тюменского гос. ун-та. – 2003. – № 2. – С. 40-52.

242. *Семаков А.Г., Маевский А.С., Ноев А.И. и др.* Состояние жизненно важных органов сиговых рыб в условиях интенсивного загрязнения Оби и проблема сохранения биопотенциалов // Матер. V Всеросс. совещ. «Биология и биотехника разведения сиговых рыб». СПб.: ГосНИОРХ, – 1994. – С. 125-127.

243. *Семенов А.Д., Страдомская А.Г., Кишкинова Т.С. и др.* Характер и уровни загрязнения водной среды Каспийского моря всвязи с явлением расслоения мышечной ткани осетровых. Баку: АН Азербайджана, – 1991. – С. 71-72.

244. *Семенов Д.Ю.* Антропогенная трансформация ихтиофауны Средней Волги в Куйбышевском водохранилище. Ульяновск: «ГАРТ», – 2011. – 113 с.

245. *Серпунин Г.Г.* Морфологическая характеристика крови молоди атлантического лосося *Salmo Salar Linnaeus*, выращиваемой в садках // Матер. Междунар. конф. «Атлантический лосось (биология, охрана и

воспроизводство)». Петрозаводск, 4–8 сентября 2000 г. Петрозаводск: «Апатиты», – 2000. – С. 158-159.

246. *Серпунин Г.Г.* Гематологические показатели адаптаций рыб // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук. Калининград: Калинингр. гос. техн. ун-т, – 2002. – 49 с.

247. *Серпунин Г.Г.* Ихтиогематологические исследования как элемент биологического мониторинга водоёмов // Наземные и водные экосистемы Северной Европы: управление и охрана. Мат-лы междунар. конф., посвящ. 50-летию Ин-та Карел. Науч. центра РАН. Петрозаводск, 8-11 сентября 2003 г. Петрозаводск: Ин-т биол. КарНЦ РАН, – 2003. – С. 130-131.

248. *Смыр Т.М., Щербакова Н.И.* Реакции рыб в разных фазах онтогенеза на гербицидную интоксикацию // Матер. Междунар. конф «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 6–9 сентября 2004 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ, – 2000. – С. 49-50.

249. *Соколова Е.Л., Шатуновский М.И., Соколов Л.И. и др.* Ихтиофауна мегаполиса и её состояние (на примере г. Москва) // Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, – 1997. – С. 172.

250. *Степанова Н.Ю.* Факторы и критерии оценки экологического риска для устойчивости функционирования Куйбышевского водохранилища // Дисс. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук. Ульяновск: УлГУ, – 2008. – 344 с.

251. *Степанова В.М., Чуйко Г.М., Павлова В.Ф.* Хроническое действие кадмия на клетки ретикулярной ткани селезёнки и периферической крови мозамбикской телпии (*Oreochromis mossambicus* Peters) // Биология внутр. вод. – 1998. – № 3. – С. 136-140.

252. *Сясина И.Г.* Гистопатология камбал из прибрежных вод залива Петра Великого Японского моря // Тез. докл. 8 съезда Гидробиологического общества РАН. Калининград, 16–23 сентября 2001 г. Калининград: АтлантНИРО, – 2001. – Т. 2. – С. 15-16.

253. Сясяна И.Г., Соколовский А.С., Соколовская Е.Г. Патология рыб из устья реки Туманной и прилегающей морской акватории // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья р. Туманной. – 2001. – Т. 2. – С. 138-175.

254. Таликина М.Г., Изюмов Ю.Г., Чеботарева Ю.В. Реакция развивающейся молоди плотвы *Rutilus rutilus* и цитогенетические аномалии в зародышевых, половых и соматических клетках после обработки токсикантами зрелых спермиев // Вопросы ихтиологии. – 2001. – Т. 41, № 6. – С. 835-841.

255. Таликина М.Г., Комов В.Т. Реакция молоди карпа и окуня на длительное воздействие ртути // Вопросы ихтиологии. – 2003. – Т. 43, № 1. – С. 127-131.

256. Таликина М.Г., Комов В.Т., Чеботарева Ю.В., Гремячих В.А. Комплексная оценка длительного воздействия ртути на молодь плотвы *Rutilus rutilus* в экспериментальных условиях // Вопросы ихтиологии. – 2003. – Т. 44, № 6. – С. 847-852.

257. Тарасенко О.Н., Мельников В.Г. Морфологическая структура форменных элементов крови леща, сазана и судака // В кн.: Современные вопросы экологической физиологии рыб. Под ред Н.С. Строганова. М.: Наука, – 1979. – С. 239-246.

258. Терентьев П.М., Кашулин Н.А., Кудрявцева Л.П. Ответы организмов сига *Coregonus lavaretus* (L.) озера Чунозеро (Лапландский биосферный заповедник, Кольский полуостров) на продолжительное воздействие малых доз загрязнения // Тезисы докл. 12 Междунар. конф. молод. уч. «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия». Борок, 23–26 сентября 2002 г. Борок: ИБВВ РАН, Рыбинский дом печати, – 2002. – С. 148-149.

259. Терентьев П.М., Кашулин Н.А. Адаптация рыб водоемов Кольского полуострова в условиях длительного аэротехногенного воздействия // Матер. Междунар. конф. «Современные проблемы физиологии

и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 6–9 сентября 2004 г., Петрозаводск: Изд-во Кар.НЦ, – 2004. – С. 134-135.

260. Терсков Г.В., Гительзон И.И. Метод химических (кислотных) эритрограмм // Биофизика. Т. 2, Вып. 2. М.: Наука, – 1957. – 247 с.

261. Трубачева В.С., Дробот Г.П., Ямбаршева А.И., Азизов Б.Р., Абдрушевич Л.И. Влияние загрязненности водоемов на морфологическое состояние стенки кишки рыб // Матер. 3 Всеросс. науч. конф. «Эколого-биологические проблемы Волжского региона и Северного Прикаспия». Астрахань, 4–6 октября 2000 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 196-197.

262. Уткин Н.А. Экологический и зоологический словарь. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, – 2000. – 480 с.

263. Фалеева Т.И. Анализ атрезии ооцитов у рыб в связи с адаптивным значением этого явления // Вопросы ихтиологии. – 1965. – Т. 5, вып. 3. – С. 455-470.

264. Федорова Н.Н., Журавлева Г.Ф., Земков Г.В. Развитие патологии внутренних органов карпа в зависимости от концентрации сульфата меди // Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та, – 2004. – № 2. – С. 156-162.

265. Федорова Н.Н., Зайцев В.Ф., Глушко М.П., Ложниченко О.В. Особенности периферической крови осетровых в современных условиях // Матер. Междунар. конф. Современные проблемы Каспия, посвящ. 105-летию КаспНИРХ. 24–25 декабря 2002 г. Астрахань: КаспНИРХ, – 2002. – С. 348-352.

266. Феклов Ю.А. Использование метода гистологического анализа органов речной камбалы *Platishtys flesus* L. для оценки степени загрязнения среды обитания // Матер. 3 Междунар. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов европейского Севера». Сыктывкар, 11–15 февраля 2003 г. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, – 2003. – С. 90-91.

267. Феклов Ю.А., Полина А.В. Гистологический и гематологический анализы рыб при разработке ПДК буровых растворов // Материалы Междунар. науч. конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в

водных экосистемах». Москва, 27–29 мая 2002. М.: Изд-во МГУ, – 2002. – С. 187.

268. *Фомин И.В.* Функциональные изменения в выделительной системе карповых рыб при отравлении кадмием и нефтью // Матер. Всеросс. интернет-конф. молод. уч. «XX век – перспективы развития рыбохозяйственной науки». Владивосток, 13–31 мая 2002 г. Владивосток: ТИНРО-Центр, – 2002. – С. 82-85.

269. *Хорошко В.И., Попова О.В., Эмирова Р.И., Карыгина Н.В.* Материалы по эколого-токсикологическому мониторингу дельты Волги // 1 Конгресс ихтиологов России. Астрахань: ВНИРО, – 1997. – С. 464.

270. *Хрущев Н.Г., Ланге М.А., Золотова Т.Е., Бессонова А.В.* Характеристика клеток эритроидного ростка у зеркального карпа (перспективы использования при оценке физиологического состояния рыб) // Сер. биол. РАН, Вестник РАН. – 1993. – С. 83-87.

271. *Цыплаков В.П.* Биология, сезонное распределение и рыбохозяйственное значение леща Куйбышевского водохранилища. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. наук. Казань, – 1966. – 24 с.

272. *Цыплаков Э.Н.* Лещ // Труды Татарского отд. Гос. НИОРХ, – 1972. – Вып. 1. – С. 68-113.

273. *Чеботарева Ю.В.* Аномалии в строении рыб Норило-Пясинской водной системы (Таймыр) как показатель состояния окружающей среды // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Москва. – 1996. – 24 с.

274. *Чеботарева Ю.В., Савоскул С.П., Савваитова К.А.* Аномалии в строении воспроизводительной системы самцов рыб Норило-Пясинских водоёмов Таймыра // Вопросы ихтиологии. – 1996. – Т. 36, № 5. – С. 653-659.

275. *Чеботарева Ю.В., Савоскул С.П., Савваитова К.А.* Аномалии в строении воспроизводительной системы самок рыб Норило-Пясинских водоёмов Таймыра // Вопросы ихтиологии. – 1997. – Т. 37, № 2. – С. 217-223.



276. *Червякова Н.Г.* Использование водных ресурсов / *Н.Г. Червякова, З.А. Федорова* // Тез. совещ. «Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз». 1994. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 1994. – С. 198.

277. *Чернышева Н.Б.* Использование гистологического метода в ихтиопатологии // Материалы научной конференции «Проблемы воспроизводства, кормления и борьбы с болезнями рыб при выращивании в искусственных условиях», Петрозаводск, 14-18 окт., Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та, – 2002. – С. 168-170.

278. *Чинарева И.Д.* Патогистологические изменения, встречающиеся у рыб бассейна Ладожского озера // Сб. науч. труд. Гос. НИИ озерного и речного рыбного хозяйства. – 1988. – № 285. – С. 24-32.

279. *Чихачев А.С., Кузина В.Ф., Шишкина И.В., Ковальчук Л.И.* Мутагенное действие поллютантов на генетический аппарат осетровых // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна. Ростов-на-Дону: Азов, НИИ рыбного хозяйства, – 1996. – С. 272-278.

280. *Шагаева В.Г., Никольская М.П., Акимова Н.В., Шигин А.А.* Морфологические аномалии в раннем онтогенезе осетровых рыб // Тез. докл. Междунар. конф. «Осетровые на рубеже XXI века». Астрахань: КаспНИРХ, – 2000. – С. 203-205.

281. *Шарова Ю.Н., Кауфман З.С., Лукин А.А.* Оогенез рыб Европейского Севера России при техногенном загрязнении. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ, – 2003. – 130 с.

282. *Шарова Ю.Н., Лукин А.А.* Патологии рыб, развивающиеся в условиях техногенного воздействия и стереотипность ответных реакций // Матер. Междунар. конф. «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения». Апатиты, 31авг.–3 сент. 2004 г. Ч. 1. Апатиты: КНЦ РАН, – 2004. – С. 87–89.

283. *Шаронов И.В.* Динамика численности поколений и рост леща в Куйбышевском водохранилище // В сб. статей: Биологические и трофические связи пресноводных беспозвоночных и рыб. Л.: Наука, – 1968. – С. 151–179.

284. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, – 2003. – 463 с.

285. *Шлейфер Г.С.* Влияние некоторых синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) на состояние гематологических показателей у рыб // Тез. докл. «Второй симпозиум по экологической биохимии рыб». Ростов Великий, декабрь 1990 г. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, – 1990. – С. 282–284.

286. *Шлейфер Г.С., Дохолян В.К., Ахмедова Т.П.* Состояние физиолого-биохимических параметров осетра при интоксикации нефтью // Тез. науч. докл. к предстоящ. Всес. совещ. «Осетровое хозяйство водоёмов СССР». Астрахань: КаспНИРХ, – 1989. – С. 350-352.

287. *Щербакова Н.И., Полуян А.Я., Катаскова С.И.* Влияние ксенобиотиков на ранний онтогенез бычка-кругляка // Тез. докл. Междунар. науч. симп. «Проблемы репродукции и раннего онтогенеза морских гидробионтов». Мурманск, 2-4 ноября 2004 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО, – 2004. – С. 141-142.

288. *Щурова И.Л.* Влияние 2,4-дитретамилфенола и 2,4,6-трихлорфенилгидрозина солянокислого на ранние стадии развития щуки // Матер. Междунар. конф. «Физиология и токсикология гидробионтов». Ярославль: Ярославский гос. ун-т, – 1990. – С. 45-48.

289. Экологический паспорт Самарской области. 2015.  
<http://www.ecopassport.samregion.ru/>

290. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна / Под. ред. Павлова Д.С., Мочка А.Д. М.: Т-во науч. изд. КМК, – 2006. – 596 с.

291. *Яковлева А.Н.* Фенетика. Эволюция, популяция, признак. М.: Наука, – 1975. – Т. 102. – С. 118-130.

292. Якубов Ш.А., Попова А.А., Прель Э.Т. и др. Влияние загрязняющих факторов среды на частоту возникновения фенотипических отклонений у рыб // В кн.: Влияние антропогенных факторов на морфогенез и структурные преобразования органов. Астрахань: КаспНИРХ, – 1991. – С. 178-179.

293. Barker D.E., Khan R.A., Lee E.M. et al. Anomalies in sculpins, *Myoxocephalus spp.*, sampled near a pulp and paper mill // Arch. Environ. Contam. and Toxicol. – 1994. – V. 26, – № 4. – P. 491-496.

294. Bashir Ahmed, Lan Jr-Peng, Fonseca Pablo, Thiyagarajah Arunthavarani, Hartley William R. Hepatic and gonadal lesions in medaka (*Oryzias latipes*) exposed to trichloroacetic acid as embryos // 4 International Symposium on Aquatic Animal Health, New Orleans, La. Sept. 1-5, 2002: ISAAH 2002: Proceeding. New Orleans (La). – 2002. – P. 239.

295. Beckman B.R., Zaugg W.S. Copper intoxication in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) induced by natural springwater: effect on gill  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  - AT Phase, hematocrit and plasma glucose // Cjn. I. Fish and Aquat. Sci.. – 1988. – № 8. – P. 1430-1435.

296. Bengtsson A., Bengtsson B.E., Lithner G. Vertebral defects in forhorn sculpin, *Myoxocephalus quadricornis* L., exposed to heavy metal pollution in the Gulf of Bothnia // I. Fish Biol. – 1988. – V. 33, № 4. – P. 517-529.

297. Bolotova N.L., Konovalov A.F. Morpho-pathologic analysis of zander (*Stizostedion lucioperca* L.) in Beloe Lake // 28 Congress of International Association of Theoretical and Applied Limnology, Melbourne, 2001. Pt. 3 / Int. Ver. Theor. Und angew. Limnol. – 2003. – V. 28, № 3. – P. 1609-1612.

298. Borovyagin V., Hernadi L., Salanki J. Mercury and cadmium induced structural alterations in the taste buds of the fish *Alburnus alburnus* // Acta boil. Hung. – 1989. – V. 40, № 3. – P. 237-254.

299. Brozio F., Litzbarski H. Untersuchungen über physiologische und histologische Veränderungen am Karpfen nach Toxapheneinwirkung // Teil I. Z. Binnenfisch. DDR. – 1977. – V. 24, № 4. – P. 215-226.

300. *Buhringer H., Sperling K.-R., Wunder W.* Spinal shortening (osteosclerosis) in spawners of the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) induced by cadmium // *Arch. Fishereiwiss.* – 1990. – V. 40, № 3. – P. 205-208.

301. *Caldwell C.A.* Aromatic hydrocarbon pathology in fish following a large spill into the Nemadji river. Wisconsin, USA // *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.* – 1997. – V. 58, № 5. – P. 574-581.

302. *Cameron P., Berg I., Von Westernhagen H.* Biological effects monitoring of North Sea employing fish embryological data // *Environ. Monit. and Assess.* – 1996. – V. 40, № 2. – P. 107-124.

303. *Cengiz E.I., Ünlü E.* Histopathology of gills in mosquitofish, *G. a.*, after long-term exposure to sublethal concentrations of malathion // *J. Environ. Sci. and Health. B.* – 2003. – V. 38, № 5. – P. 581-589.

304. *Crawford R.B., Guarina A.M.* Effects of environmental toxicants on development of a teleost embryo // “*J. Environ. Pathol. Toxicol. and Oncol.*”. – 1985. – V. 6, № 2. – P. 123-130.

305. *Debkumar D., Sinha G.M.* Responses induced by long-term toxic effects of heavy metals on fish tissues concerned with digestion, absorption, and excretion // *Gedenbauers morphol. Jahrb.* – 1989. – V. 135, № 4. – P. 627-657.

306. *Dethlefsen V.* Fish the polluted North Sea // *Dana.* – 1989. – V. 8, № 4. – P. 109-129.

307. *Dethlefsen V., Zand T.* Diseases of Baltic sea fish // *Int. Fishwirt.* – 1994. – V. 41, № 2. – P. 92-101.

308. *Dey S., Brattacharya S.* Ovarian damage to *C. p.* after exposure to low concentrations of elsan, mercury, and ammonia // *Ecotoxicol. And Environ. Safety.* – 1989. – V. 17, № 2. – P. 247-257.

309. *Doving K.B.* Assessment of animal behaviour as a method to indicate environmental toxicity // *Compar. Biochem. and Physiol. C.* – 1991. – V. 100, № 1-2. – P. 247-252.

310. *Drastichová J., Syobodová Z., Lusková., Máchová J., Celechovská O., Švestková E.* The effect of cadmium on haematological and biochemical indices of

carp (*Cyprinus carpio* L.) // Congress of the European Societies of Toxicology "EUROTOX 2003". Florence, Sept. 28 – Okt. 1 2003. *Toxicol. Lett.* – 2003. – V. 144. – P. 174.

311. *Eggens M., Vethaak D.* PAHs en PCBs in relation to liver // *Mutat. Res. Environ. Mutagenes and Related Subj.* – 1989. – V. 216, № 5. – P. 310-311.

312. *Evgenjeva I.P., Semenova I.V.* The effect of pollutions on the histogenesis of fish muscle tissue: [Pap.] 4 th. Int. Congr. Vertebr. Morphol. (ICVM – 4), Chicago, ILL., Iuli 31 – Abg. 4. 1994 // *I. Morphol.* – 1994. – V. 220, № 3. – P. 344.

313. *Fay Laura A., Gresseer Mary L., Stromberg Paul C.* Use of larval fish growth rates and pathology as indicators of contaminant stress // "Program and Abstr. 28 th. Conf. Great Lakes Pes". Milwaukee, Wisc. June 3-5, – 1985. S.I., s.a. – 38 p.

314. *Gautam A.K., Gupta M.L.* Chromium induced hematological anomalies in a freshwater fish, *Channa punctatus* (Bl.) // *I. Environ. Biol.* – 1989. – V. 10, № 3. – P. 239-243.

315. *Gardner G.R., Prueii R.J., Formar L.C.* A comparison of both neoplastic and nonneoplastic disorders in winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) from eight areas in New England // *Mar. Environ. Res.* – 1989. – V. 28, № 1–4. – P. 393-397.

316. *Gill T.S., Pande J., Tewari H.* Hepatopathotoxicity of three pesticides in a freshwater fish, *Puntis conchoniis* Ham. // *I. Environ. Sci. and Health. A.* – 1990. – V. 25, № 6. – P. 653-663.

317. *Guillette L.J., Grein D.A., Rooney A.A., Pickford D.B.* Organization versus activation; the role of endoerine-disrupting contaminants during developments in wildlife // *Environ. Health Perspectives.* – 1995. – V. 103. – P. 157-164.

318. *Gokhale K.S., Patit N.N.* Relationship of metals in different organs of *Mystus gulia* (Ham.) with environmental parameters and biology of fish // *Environ. Biol.* – 1989. – V. 10, № 3. – P. 265-271.

319. *Goldschmidt R.B.* Theoretical genetics // Berkeley. Los Angeles: Cambridge Univ. press. – 1955. – 563 p.

320. *Gvozdenko S.T., Kataskova S.I., Molchanova N.V., Zinchuk O.A.* A study of the mutagenic and teratogenic effect of pesticides on embryonic development of sturgeons // 3 rd. Tut. Simp. Sturgeon, Piacenza, Iuli 8–11, 1997: Booklet Abstr. Piacenza. – 1997. – P. 185-186.

321. *Hargis W.I., Ir, Zwermer D.E.* Effects of certain contaminants on eyes of severol estuarine fishes // “Mar. Environ. Res.”, USA, Virginia, Inst. Mar. Sci. – 1988. – V. 24, № 1-4. – P. 265-270.

322. *Harshbarger I.C., Clossk I.B.* Epizootology of neoplasms in bony fishes of North America // Sci. Total. Environ. – 1990. – V. 94, № 1-2. – P. 1-32.

323. *Heath A.G.* Water Pollution and Fish Physiology. L.: Lewis Publ., – 2002. – 506 p.

324. *Helenius A., Simons K.* Solubilization of membranes by detergents // Biochim. Biophys. Acta. – 1975. – V. 415. – P. 29-79.

325. *Hinton D.E.* Environmental contaminant and cancer in fish // Mar. Environ. Res. – 1989. – V. 28, № 1-4. – P. 411-416.

326. *Hinton D.E., Lauren D.G.* Integrative hystopathological approaches to detective effects of environment stressors on fish. N.Y.: Publ. Amer. Fish. Soc., – 1990. – P. 51-66.

327. *Hodson P.V., McWirther., Ralph K et al.* effects of bleached kraft mill effluent on fish in the St/ Maurice river, Quebec // Environ. and Toxicol. Chem. – 1992. – V. 11. – P. 1635-1651.

328. *Houston A.N.* Components of the hematological response of fishes to environmental temperature change: a review // Environ. Physiol. of fishes. Ali. (ed.)/ Plenum Publ. Corp. – 1980. – P. 241.

329. *Hylland K., Feist S., Tain J., Forlin L.* Molecular/cellular processes and health of individual // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrence, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., – 2003. – P. 134-166.

330. *Jagoe C.H., Haines T.A., Buckler D.R.* Abnormal gill development in atlantic salmon (*Salmo galar*) fry exposed to aluminium at low pH // *Ann. Soc. roy. zool. Belg.* – 1987. – V. 117, № 1. – P. 375-386.

331. *Joy K.P., Kiribagaran R.* An immunocytochemical study on the pituitary gonadotrophic and thyrotrophic cells in the Cat-fish, *Clarias batrachus*, after mercury treatment // *Biol. Struct. and Morpholog.* – 1989. – V. 2, № 2. – P. 67-70.

332. *Karas P., Neuman E., Sandström O.* Effect of a pulp mill effluent on the population of perch, *P. f.* // *Cfn. J. Fish. And Aquat. Sci.* 1991. V. 48. № 1. P. 28–34. *Kingsford M.S., Suthess J.M., Cray C.A.* Exposure to sewage plumes and the incidence of deformities in larval fishes // *Mar. Pollut. Bull.* – 1996. – V. 33, № 7-12. – P. 201-212.

333. *Kavanagh Richard J., Balch Gordon C., Kiparissis Y. Niimi Arthur J., Sherry J., Tinson C., Metcalfe Chris D.* Endocrine disruption and altered gonadal development in white perch (*Morone americana*) from the lower Great Lakes region // *Environ. Health Perspect.* – 2004. – V. 112, № 8. – P. 898-902.

334. *Kinae N., Yamashita M., Tomita I. et al.* A possible correlation between environmental chemicals and pigment cell neoplasia in fish // *Sci. Total. Environ.* – 1990. – V. 94, № 1-2. – P. 144-153.

335. *Krali-Klobucal N., Spasojevic S.* Lead accumulation in some tissues of the carp (*Cyprinus carpio*) // *Vet. Arh.* – 1989. – V. 59, № 2. – P. 93-99.

336. *Kreibich G., Debey P., Sabatini D.D.* Selective release of content from microsomal vesicles without membrane disassembly. 1. Permeability change, induced by low detergent concentrations // *J. Cell. Biol.* – 1973. – V. 58. – P. 436-446.

337. *Krishnani K.K., Azad I.S., Koilasam M., Thirunavukkarasu A.R., Gupta B.P., Joseph K.O., Muralidhar M., Abraham M.* Acute toxicity of some heavy metals to lates calcarifes fry with a note on its histopathological manifestations // *J. Environ. Sci. and Health. A.* – 2003. – V. 38, № 4. – P. 645-655.

338. *Kruse G.O., Scarnecchia D.L.* Assessment of bioaccumulated metal and organochlorine compounds in relation to physiological biomarkers in Kootenai

River white sturgeon // International Symposium on Sturgeon. Oshkosh, Wisc., Juli 8–13 2001. J. Appl. Ichthyol. – 2002. – V. 18, № 4-6. – P. 430-438.

339. *Lazaras Asha D., Mishra P.K., Khasdeo K.* Histopathological study of neemax induced gills of *Rasbora daniconius* // J. Exp. Zool. India. – 2004. – V. 7, № 2. – P. 361-364.

340. *Lane H.C., Tharp T.P.* Changes in the population of polyribosomal containing red cells of peripheral blood of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Rich., following starvation and fleeing // J. Fish Biol. – 1980. – V. 17. – P. 75.

341. *Lawrens A.J., Arukwe A., Moor M. et al.* Molecular/cellular processes and the physiological response to pollution // Effects of Pollution on Fish / Ed. A.J. Lawrens, K.L. Hemingway. N.Y.: Blackwell Sci., – 2003. – P. 83-133.

342. *Leita de Veiga Marceró, de Lara Rodríguez Edson, Pachecj Fabio Juliano, Tavares Ranzani-Paiva Maria José* Histopathologic changes in the kidney tissue of *Prochilodus lineatus* (Characiformes, Prochilodontidae) induced by sublethal concentration of trichlorfon exposure // Braz. Arch. Biol. and Technol. – 2002. – V. 45, № 2. – P. 171-175.

343. *Lerner L.M.* Genetic homeostasis. New York. – 1954. – 134 p.

344. *Lindesjö E., Thilin J.* Histopathology of skin and gills of fish in pulp mill effluents // Diseases Aquat. Org. – 1994. – V. 18. – P. 81-93.

345. *Lindesjö E., Thilin J., Bengtsson B.E., Tjarnlund U.* Abnormalities of a gills cover bone, the operculum, in perch *Perca fluviatilis* from a pulp mill effluent area // Aquat. Toxicol. – 1994. – V. 28. – P. 189-207.

346. *Livingstone David R.* Pollution and oxidative stress in aquatic organisms // Congrès “Bordeaux aquaculture 2001”. Bordeaux, 2001 / Rév. méd. vet. (France). – 2002. – V. 153, – № 7. – P. 522.

347. *Llorent M.T., Martos A., Castano A.* Detections of cytogenetic alterations and blood cell changes in natural populations of carp // Ecotoxicology. – 2002. – V. 11, № 1. – P. 27-34.

348. *Łudowski K., Jezierska B., Witeska M., Samonowski P.* Deformations of newly hatched grass carp larvae // Acta sci. pol. Pisc. – 2002. – № 1. – P. 15-22.



349. *Lutnicka H.* The influence of type I and type II pyrethroids on fish organism // EUROTOX 2002, Budapest, 15–18 Sept., 2002. Toxicol. Lett. – 2002. – V. 135. – P. 159.

350. *Meier W., Wahli., Wahli Th.* Bio-indicator // UNI Press. – 1988. – № 58. – P. 3-4.

351. *Metcalf J.M.* Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe // Environmental Pollution. – 1989. – V. 60. – P. 101-139.

352. *Metcalf C.D., Caiens V.W., Fitzsimans I.D.* Experimental induction of liver tumours in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) by contaminated sediment from Mamilton Horbom, Ontario // Can. J. Fish. And Aquat. Sci. – 1988. – V. 45, № 12. – P. 2161-2167.

353. *Middaugh D.P., Chapman P.J., Shelton M.E., McKenney C.I., Courtney L.A.* Effects of fraction from biodegraded Alaska North slope crude oil on embryonic inland silversides. *Menidia beryllina* // Arch. Environ. Contam. And Toxicol. – 2002. – V. 42, № 2. – P. 236-243.

354. *Mikryakov V.R., Tereshenko V.G., Mikryakov D.V.* Using the information indexes of frame of leucocytes to analysis of dynamics of a response of fishes on an operation toxicants // Tenth International Conference “Diseas of Fish and Shellfish”. Dublin, 9 – 14 sept. 2001. Book of Abstracts. – 2001. – P. 139.

355. *Murugesan A.G., Muthu Sm.P., Haniffa M.A.* Cytopathological changes in erythrocytes of the Cat-Fish *Heteropneustes fossilis* (Bloch) exposed to textile-mill effluent // Curr. Sci. (India). – 1989. – V. 58, № 5. – P. 268-270.

356. *Oronsaye I.A.O.* Histological changes in the kidneys and gills of the stisklebeck, *Gasterosteus aculeatus* L., exposed to dissolved cadmium in hard water // Ecotoxicol. and Environ. Saferty. – 1989. – V. 17, № 3. – P. 279-290.

357. *Ortiz Juan B., Gonzalez de Canales M. Luiza, Sarasquete Carmen* Histopathological changes induced by lindane ( $\gamma$ -HCH) in various organs of fishes // Sci. mar. – 2003. – V. 67, № 1. – P. 53-61.

358. *Oyen F.G., Camps L.E.C.M.M., Wendelaar B.S.E.* Effect of acid stress on the embryonic development of the common carp (*Cyprinus carpio*) // *Aquat. Toxicol.* – 1991. – V. 19, № 1. – P. 1-12.

359. *Pacheco M., Santos M.A.* Naphtalene and  $\beta$ -naphthoflavone effects on *Anguilla anguilla* L. hepatic metabolism and erythrocytic nuclear abnormalities // *Environ. Int.* – 2002. – V. 28, № 4. – P. 285-293.

360. *Pain S.* Pesticides causes cataracts in salmon // *New Sci.* – 1989. – V. 123, № 1679. – P. 30.

361. *Panduranga R.D., Bhaskar B.r., Srinivasa R.K., Prasad Y.V.K. Durga, Someswara R.N., Venkateswara R.T.N.V.* Haematological effects in fishes from complex polluted waters of Visakhapatnam harbor // *Mar. Environ. Res.* – 1990. – V. 30, № 3. – P. 217-231.

362. *Parashar R.S., Banerjee T.K.* Toxic impact of lethal concentration of lead nitrate on the gills of air-breathing catfish (*Heteropneustes fossilis* (Bloch)) // *Ver. Arh.* – 2002. – V. 72, № 3. – P. 167-183.

363. *Paulose P.V.* Histological changes in relation to accumulation and elimination of inorganic and methyl mercury in gills *Lebeo rohita* Hamilton // *Indian J. Exp. Biol.* – 1989. – V. 27, № 2. – P. 146-150.

364. *Papoulias Diana M., Wildhaber Mark L., Delonay Aaron J., Annis Mandy L., Krentz S., Tillitt Donald E.* Abnormal hermaphroditism in shovelnose sturgeon (*Scaphirhynchus platyrhynchus*) from the Missouri River // 4 International Symposium on Aquatic Animal Health. New Orleans, Sept. 1–5. 2002. ISAAN 2002: Proceedings. New Orleans (La). – 2002. – P. 165.

365. *Pedlar R.M., Ptashinski M.D., Evans R., Klaverkamp J.F.* Toxicological effects of dietary arsenic exposure in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) // *Aquat. Toxicol.* – 2002. – V. 57, № 3. – P. 167-189.

366. *Pietrapiana D., Modena M., Guidetti P., Falugi C., Vacchi M.* Evaluating the genotoxic damage and hepatic tissue alterations in demersal fish species: A case study in the Ligurian Sea (NW – Mediterranean) // *Mar. Pollut. Bull.* – 2002. – V. 44, № 3. – P. 238-243.

367. Pohl C. Skeletal deformities and trace metal contents of European smelt, *Osterus eperlanus*, in the Elbe Estuary // Meersforschung. – 1990. – V. 33, № 1. – P. 78-89.

368. Popescu-Marinescu V., Năstăsescu M., Manolache V., Neagu F., Teodorescu D., Nistor L. Structural changes caused by lead action upon the gills of *Cyprinus carpio* L. (Pisces) young fish // Rev. roum. hiol. Ser. boil. Anim. – 2000. – V. 45, № 1. – P. 83-90.

369. Pragatheeswaran V., Loganathan B., Natarajan R. et al. Ambassis *cjmmersoni*. Cadmium induced vertebral deformities in an estuarine fish, *Ambassis cjmmersoni* Cuvier // “Proc. Indian Acad. Sci. Anim. Sci.”. – 1987. – V. 96, № 4. – P. 389-393.

370. Pragatheeswaran V., Loganathan B., Natarajan R., Venugapalon V.K. Cadmium induced Malformation in Eyes of *Ambassis cjmmersoni* Cuvier // Bull. Environ. and Toxicol.. – 1989. – V. 43, № 5. – P. 755-760.

371. Reshetnikov Yu.S., Popova O.A., Kashulin N.A., Lukin A.A., Amundsen Per-Arne. Developmant of an index to assess of heavy metal pollution on fish populations // International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes. Ann Arbor, Michigan. Adb. Limnol. – 2002. – № 57. – P. 221-231.

372. Richmonds C., Dutta H.M. *Lepomis mecrochimus*. Histopathological changes by malation in the gills of bluegill *L.m.* // Bull. Environ. Contam. and Toxicol.. – 1989. – V. 43, № 1. – P. 123-130.

373. Roncero V., Gómez L., Durán E., Fernández O., Garsia-Camberso J.P., Oropesa A., Soler F. Histopathological alterations in carp (*Cyprinus carpio*) after exposition to simazine // EUROTOX 2002, Budapest, 15-18 sept., 2002 / Toxicol. Lett. – 2002. – V. 135. – P. 94-95.

374. Rudolph A., Yáñez R., Troncoso I., González R. Stimulation of enzymatic defense mechanisms and appearance of liver damage in juvenile trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to water-accommodated trace petrjleum residues // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 2002. – V. 68, № 5. – P. 644-651.

375. *Ruparelia S.G., Verma Y.V., Mehta N.S., Salyed S.R.* Lead-induced biochemical changes in freshwater fish *Oreochromis mossambicus* // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 1989. – V. 43, № 2. – P. 310-314.

376. *Sarkar B., Chatterjee A., Adhikari S., Ayyappan S.* Carbofuran- and cypermethrin-induced histopathological alterations in the liver of *Labeo rohita* (Hamilton) and its recovery // J. Appl. Ichtyol. – 2005. – V. 21, № 2. – P. 131-135.

377. *Sandström O., Forlin L., Grahn O. et al.* Environmental impact of pulp endpaper mill effluents // Rept № 4785. Stockholm: Swedish EPA. – 1997. – 49 p.

378. *Saxena K.K., Seth N.* Alteration in the leucocytes of *Channa punctatus* under the toxic stress of cypermethrin // Proc. Nat. Acad. Sci. India. B. – 2002. – V. 72, № 2. – P. 203-209.

379. *Shanker N.A., Narain S.P.* Anemia in the freshwater teleost, *Heteropneustes fossilis*, under the stress of environmental pollution // bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 1989. – V. 43, № 4. – P. 627-634.

380. *Shubert A.* Allgemeine Grundlagen der Ökosystemlehre. In: Shubert R. (Hrsg.) Lehrbuch der Ökologie, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, – 1984. – 162 p.

381. *Sindermann C.I.* Skeletal deformities in striped bass // Disease Diagn. and Contr. N. Amer. Mar. Aquatic. Amsterdam, – 1988. – P. 370-371.

382. *Stine Cynthia B., Smith David, Vogelbein Wolfgang K., Kane Andrew S.* Morphometric evaluation of hepatic lesions in killifish, *Fundulus heteroclitus*, exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons // 4 International Symposium on Aquatic Animal Health. New Orleans, Sept. 1–5. 2002. ISAAN 2002: Proceedings. New Orleans (La). – 2002. – P. 183.

383. *Stöcker G.* Zu einigen theoretischen und methodischen Aspekten der Bioindikation. In.: Bioindikation. Teil 1. Wiss. Beitr. Martin Luther Univ. – 1980. – V. 8. – P. 10-21.

384. *Taylor B.M., Lambou V.W., Williams L.R., Hern S.C.* Trophic state of lakes and reservoirs // Technical Report E – 80 – 3. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. – 1980. – 25 p.

385. *Tassakka Asmi Citra Malina A.R., Sakai Masahiro.* CpG oligodeoxynucleotides enhance the non-specific immune responses on carp *Cyprinus carpio* // *Aquaculture.* – 2002. – № 1-4. – P. 1-10.

386. *Tiano L., Fedeli D., Moretti M., Falcioni G.* DNA damage induced by organotin on trout nucleated erythrocytes // *Appl. Organometal. Chem.* – 2001. – V. 15, № 7. – P. 575-580.

387. *Urho L.* Fin damage in larval and adult fishes in a polluted inlet in the Baltic: [Pap.] 3 rd. ICES symp. early. life hist. fish., Bergen, 3–5 jctobre, 1988 // *Rapp. et proc.-verb. reun. / Cons. int. explos. mer.* – 1989. – V. 191. – P. 493-494.

388. *Urho L., Hudd R.* Sublethal effects of ocn oil spill on fish larvae in the Northern Quark, in the Balnic: [Pap.] 3 rd. ICES symp. early. life hist. fish., Btrgen, 3–5 octobre, 1988 // *Rapp. et proc.-verb. reun. / Cons. int. explor. mer..* – 1989. – № 191. – P. 494.

389. *Van Den Avyle M.I., Garvick S.I., Blezep V.S. et al.* Skeletal deformities in smallmouth bass, *Micropterus deformities*, from southern Appalachian reservoirs // *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* – 1989. – V. 18, № 5. – P. 688-696.

390. *Vazzana M., Gammarata M., Cooper E.L., Parrinello N.* Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity // *Aquaculture.* – 2002. – V. 210, № 1-4. – P. 231-243.

391. *Vogelbein W.K., Zwerner D.E.* Prevalence, histopathology, and ultrastructure of vascular neoplasms in mummichogs (*Fundulus heteroclitus*) from a creosote-contaminated site // 4 International Symposium on Aquatic Animal Health. New Orleans, Sept. 1–5. 2002. ISAAN 2002: Proceedings. New Orleans (La). – 2002. – P. 191.

392. *Wang Wen-bo, Li Ai-hua.* Влияние природного стресса на иммунную систему рыб // *Shuichan xuebao = J. Fish. China.* – 2002. – V. 26, № 4. – P. 368-374.

393. *Wasser Z., Abwasser-Forsch.* Schadwirkung der Kabi-Abwasser im Biotop der Werra und Oberweser // Buhse Gunter. – 1989. – V. 22, № 2. – P. 49-56.

394. *Wazzana M., Cammarata M. Cooper E.L., Parrinello N.* Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity // *Aquaculture.* – 2002. – V. 210, № 1-4. – P. 231-243.

395. *Weis P., Weis I.S., Creenberg A.* Treated municipal wastewaters: effects on development and growth fishes // *Mar. Environ. Res.* – 1989. – V. 28, № 1-4. – P. 527-532.

396. *Williams K.A., Green D.W.J., Pascoe D., Gower D.E.* The acute toxicity to different larval stages of *Chironomus riparius* (Diptera: Cironomidae) and its ecological significance for pollution regulation // *Oecologia.* – 1986. – V. 70. – P. 362-366.

397. *Wrona F.G., Cash K.J.* The ecosystem approach to environment assessment: moving from theory to practice // *J. Aquat. Ecosyst. Health.* – 1996. – V. 5. – P. 89-97.

398. *Wunder W., Schmeller H.-B.* Wirbelsaulenshaden bei eijährigen Bachsaibleingen, verursacht duech Aluminium in saurem Wasser // “Fisher und Teichwirt”. – 1988. – V. 39, № 6. – P. 178-179.

399. *Xu Jingbo, Ma Xunfeng, Hou Wenli et al.* Zhongquo huanjing kexue // *China Environ. Sci.* – 1994. – V. 14, № 3. – P. 214-219.

400. *Yagana B., Mandi H.* Histopathological lesions in the body organs of Cat-fish (*Heteropneustes fossilis*) following mercury intoxication // *I. Environ. Sci. and Health.* – 1990. – V. 25, № 1. – P. 67-85.

401. *Ywama G.Y., Morgan S.D., Barton B.A.* Simpee fiels methabs far monitoring stress ons general constition of fish // *Agrowlt. Pes.* – 1995. – V. 26, № 4. – P. 273-282.