



Влияние токсикантов на репродуктивную систему рыб – представителей различных семейств в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия

Научная статья
УДК 597.2/5

DOI: 10.37663/0131-6184-2024-1-21-32

Гаджимурадов Гаджимурад Шейхмагомедович – кандидат сельскохозяйственных наук, Доцент Кафедры «Организации и технологии аквакультуры», Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, г. Махачкала, Россия
E-mail: gadzhimurad.74@mail.ru

Адрес: Россия, 367032, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, 180

Аннотация. В последние десятилетия наблюдается особенная уязвимость экосистемы Каспийского моря, подверженная влиянию масштабного антропогенного воздействия. При этом Каспий представляет собой уникальную экосистему, известную своими многочисленными водными обитателями. Острейшей проблемой бассейна остается сохранение биологических ресурсов, а также восстановление промысловых запасов каспийских рыб. В связи с ограниченностью работ по исследованию репродуктивной системы различных видов рыб, в условиях вероятного нанесения влияния токсикантов, содержащихся в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия, представлялось важным оценить эти особенности у промысловых видов рыб семейств карповых, сомовых, окуневых и щучьих анализируемого региона на протяжении последних 20-ти лет.

Комплексные, в эколого-морфогистологическом и физиологическом направлениях, исследования на различных уровнях (макро- и микроскопическом) показали, что любые нарушения в морфологии репродуктивных систем особей анализируемых видов рыб Каспия (семейства карповые, щучьи, сомовые, окуневые), могут внести глубокие и необратимые изменения в их строении и функционировании. В процессе адаптации особей рыб к новым условиям обитания происходят глубокие изменения в гаметогенезе и гонадогенезе, в прохождении по-

ловых циклов, в ритме размножения и в экологии нереста. Изучение различных звеньев репродуктивного цикла у видов рыб с разной экологией, из различных систематических групп, сочетающие клеточный, органный, организменный и популяционный уровни исследований, показали, что все звенья воспроизводительного цикла находятся в тесной взаимосвязи; изменения в одном из этих звеньев, вызванные различными условиями, неразрывно связаны с изменениями в смежных звеньях цикла.

Анализ возможных путей адаптации рыб к изменившимся условиям воспроизводства в изучаемых водоемах после их реконструкции показал, что наиболее частый способ эволюционных преобразований в различных звеньях репродуктивного процесса – это изменение темпа развития половых желез и продуктов их деятельности (ооцитов и сперматозоидов) и организма в целом, что отражается на скорости воспроизводства популяций в реконструированных водоемах Дагестанской части Среднего Каспия.

Ключевые слова: ихтиофауна Каспия, гаметогенез рыб, ооцит, сперматогенез, токсиканты, водоемы Среднего Каспия

Для цитирования: Гаджимурадов Г.Ш. Влияние токсикантов на репродуктивную систему рыб – представителей различных семейств в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия // Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 21-32. DOI: 10.37663/0131-6184-2024-1-21-32

INFLUENCE OF TOXICANTS ON REPRODUCTIVE SYSTEM OF FISH – REPRESENTATIVES OF DIFFERENT FAMILIES IN WATER BODIES OF THE DAGESTAN PART OF THE MIDDLE CASPIAN SEA

Gadzhimurad Sh. Gadzhimuradov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
The Department of «Organization and technology of aquaculture», Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia

Address: Russia, 367032, The Republic of Dagestan, Makhachkala, Magomed Hajiyev street, 180

Annotation. In recent decades, a special vulnerability of the Caspian Sea ecosystem has been observed, which is exposed to the influence of large-scale anthropogenic impact. At the same time, the Caspian Sea is a unique ecosystem known for its numerous aquatic inhabitants. The most pressing problem of the basin remains the preservation of biological resources and the restoration of commercial Caspian fish stocks. Due to the limited number of studies on the reproductive system of different fish species under the conditions of probable influence of toxicants contained in the reservoirs of the Dagestan part of the Middle Caspian Sea, it was important to evaluate these features in commercial fish species of the carp, catfish, perch and pike families of the analyzed region during the last 20 years.

Complex studies in ecological-morphohistological and physiological directions at different levels (macro- and microscopic) have shown that any disturbances in the morphology of reproductive systems of individuals of the analyzed fish species of the Caspian Sea (families of Carp, Pike, Catfish and Perch) can bring deep and irreversible changes in their structure and functioning. In the process of adaptation of fish individuals to new habitat conditions, profound changes occur in gametogenesis and gonadogenesis, in the passage of sexual cycles, in the rhythm of reproduction and in the ecology of spawning. The study of different parts of the reproductive cycle in fish species with different ecology, from different systematic groups, combining cellular, organ, organismal and population levels of research, showed that all parts of the reproductive cycle are closely interrelated; changes in one of these parts, caused by different conditions, are inextricably linked to changes in adjacent parts of the cycle.

Analysis of possible ways of fish adaptation to the changed conditions of reproduction in the studied water bodies after their reconstruction showed that the most frequent way of evolutionary

transformations in different parts of the reproductive process is a change in the rate of development of reproductive glands and products of their activity (oocytes and spermatozoa) and the organism as a whole, which is reflected in the rate of reproduction of populations in the reconstructed water bodies of the Dagestan part of the Middle Caspian Sea.

Keywords: Caspian ichthyofauna, fish gametogenesis, oocyte, spermatogenesis, toxicants, water bodies of the Middle Caspian Sea

For citation: Gadzhimuradov G.S. Influence of toxicants on reproductive system of fish – representatives of different families in water bodies of the Dagestan part of the Middle Caspian Sea // Fisheries. 2024. No. 1. Pp. 21-32. DOI: 10.37663/0131-6184-2024-1-21-32

*Таблицы составлены автором, рисунок – авторский /
The tables are compiled by the author, the drawing was made by the author*

ВВЕДЕНИЕ

Экологические условия и резервы энергоемких веществ напрямую влияют на формирование половых клеток рыб и в дальнейшем – на жизнестойкость их молоди. Известно, что на процессы воспроизводства рыб может влиять ряд различных факторов, среди которых можно выделить гидрохимический и гидрологический режимы водоема, наличие кормовых объектов и общее физиологическое состояние особей, которые находятся в фертильном периоде. Эти факторы непременно сказываются на численности заложенных икринок и их биохимическом составе, что, в свою очередь, отразится на качестве потомков и их способности к выживанию.

Каспийское море – крупнейший внутренний водоем на Земле. Его площадь составляет около 380 тыс. км. Регион Каспия – один из старейших нефтедобывающих регионов в мире и становится все более важным источником мирового производства энергии. В экосистему Каспия впадает около 130 рек, крупнейшей из которых является р. Волга (более чем 85% общего объема притока) [1]. За последние несколько десятилетий окружающая среда Каспийского моря переходит в новое состояние из-за изменений в экологической структуре, вызванных воздействием нескольких факторов, что оказывает влияние на все компоненты экосистемы и рыбные запасы [2]. Наряду с работами по добыче нефти в самом озере, одним из основных источников загрязнения Каспия были определены реки, что связано с течением их русла через ряд промышленных и сельскохозяйственных районов. Характерным

является хронический и широкомасштабный уровень загрязнения Каспийского моря, накопление в его водах большинства попадающих загрязняющих веществ. Ухудшение качества водной среды Каспия из-за поступления загрязняющих веществ происходит в последнее время значительно быстрее, чем в других типах водотоков, поскольку эта территория имеет низкую способность к самоочищению и в первую очередь реагирует на негативное антропогенное влияние.

Одновременно с этим, Каспийское море отличается большим разнообразием биотопов, биотических и абиотических условий обитания для пресноводных, солоноватых, эвригаллиных и гипергаллиных гидробионтов [3]. При этом многие виды существующей ихтиофауны Каспия уязвимы к перелову из-за коммерческой важности. Общий вылов морских рыб в Каспийском море, по данным 2022 г., превысил 36,3 тыс. тонн (уровень освоения 30%), что в 11-23 раза больше, чем в 2011-2018 годах. Кроме того, результате биологических и экологических процессов в море, изменения климата и антропогенного воздействия за последнее десятилетие произошло резкое сокращение количества выловленной промысловой рыбы. И в наибольшей степени отмечен рост загрязнения, браконьерства, разрушения среды обитания и чрезмерной эксплуатации водоема в целях нефтедобычи [4].

Преобладающие типы загрязняющих веществ, характерные для среды рек Каспия, подвергшихся антропогенной нагрузке, вследствие урбанизации их водосборной территории, – соединения биогенных элементов и органические вещества, нефте-

продукты и ионы тяжелых металлов (медь, кадмий, свинец и тому подобное); в отдельных случаях отмечено также наличие пестицидов и других ксенобиотиков в воде и донных отложениях. Кроме повышенного содержания токсикантов, на перенагрузку таких водотоков сточными водами указывает значительная вариабельность химического состава воды во времени и пространстве. В случаях, когда река несет постоянно переменную смесь ливневых и промышленно-бытовых стоков, концентрация нефтепродуктов периодически может превышать санитарно-гигиенические нормы в десятки и сотни раз. В отдельных случаях загрязнение нефтепродуктами сохраняется в седиментах и под камнями даже после исчезновения пленки с поверхности воды. Установлено, что концентрации нефти до 15 ПДК приводят к замедлению темпа роста и снижению репродуктивных способностей рыб [5]. Наиболее высокие показатели уровня загрязненности нефтепродуктами, солями тяжелых металлов, пестицидами были обнаружены на береговой территории Каспийского моря и в реках (особенно в Тереке) еще в начале XXI века. Следует также отметить, что на некоторых водотоках было выявлено угнетение процессов биологического окисления токсическими примесями, что снижает самоочищающуюся способность рек Каспия. При чрезмерном уровне токсификации наблюдается резкое уменьшение видового богатства высшей водной растительности, иногда до полного исчезновения, а также упрощения структуры биомассы и доминирование видов, толерантных к загрязнению. Это еще в большей степени ухудшает условия среды обитания рыб, поскольку самоочищающаяся способность у рек в значительной мере зависит от наличия погруженных макрофитов и зарастания береговой полосы, где задерживаются и аккумулируются токсиканты [6].

При неблагоприятных экологических условиях, гидробионтам необходимо осуществить ряд приспособительных перестроек в организме для выживания вида, вследствие чего формируются новые резистентные популяции. Физиологические процессы, необходимые для воспроизводства, начиная с оплодотворения икры и заканчивая половым поведением и нерестом, включают дифференцировку гонад, половое со-

зревание, мужской и женский гаметогенез и время репродуктивных циклов, все они регулируются многочисленными нейроэндокринными, эндокринными, паракринными и аутокринными факторами по всей оси мозг-гипофиз-гонады. Эти процессы также взаимодействуют с другими важными физиологическими функциями, такими как рост, питание, осморегуляция и реакция на стрессовые факторы, а также сильно зависит от внешних факторов, таких как температура, фотопериод и соленость воды, которые могут изменять различные стадии репродуктивного процесса в зависимости от вида. Фактически, рыбы демонстрируют огромное разнообразие специфических репродуктивных стратегий и тактик с таким же количеством специфических адаптаций, с точки зрения физиологической регуляции [7]. Поскольку в репродуктивный период ткани мышц и гонад составляют основную массу тела рыб, отдельные, загрязняющие гидробиологический объект, вещества часто в больших количествах накапливаются в гонадах в преднерестовый и нагульный периоды. Превышающие допустимую норму дозы химических реагентов провоцируют значительные нарушения в формировании гонад и препятствуют процессам воспроизводства. Впоследствии, из-за накопления токсикантов в тканях, происходят существенные изменения, которые могут повлечь у рыб ряд патологических процессов, связанных с изменениями структуры половых клеток и процесса размножения. Во второй половине XX в. достаточно частыми были факты выявления в Каспии особей рыб с различного рода отклонениями от нормы в течении гамето- и гонадогенеза, что чаще всего характеризуется закладкой оболочек половых клеток с фрагментарными включениями желтка и полным отсутствием ядер. Кроме того, возросла регистрация улова особей с перерождением части клеток гонад (чаще семенников), а также образованием соединительно-тканых разрастаний в железах внутренней секреции, участились случаи развития гермафродитных особей [8].

Анализ функционирования половой системы рыб в различного рода загрязненных водных объектах, по мнению многих ученых [9; 10], очень актуальны в связи с выявлением, существующего на сегодняшний день, репродуктивного потенциала и половой

цикличности, что обусловлено проблемами динамики численности, а также – с целью проведения оценки уровня функционирования конкретного вида рыб в определенных экологических условиях, что вызвано необходимостью систематизации выявленных патологических нарушений гонадогенеза и развития половых клеток. Последнее непосредственно связано с анализом механизмов реагирования системы воспроизводства на разные негативные воздействия. В связи с этим большую озабоченность вызывает современное состояние репродуктивной способности основных промысловых рыб Каспия. Такая ситуация обуславливает целесообразность и необходимость осуществления широкомасштабных сравнительно сопоставительных экоморфологических и физиологических исследований по проблеме размножения ценных промысловых видов рыб на территории анализируемого региона [11].

Изучение и анализ литературных источников последних лет показал дефицит информации о влиянии токсикантов на репродуктивную систему различных видов рыб четырех семейств: карповых, сомовых, окуневых и щучьих в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия. Из проведенных на сегодняшний день исследований можно констатировать наличие различных нарушений в течение репродуктивных процессов среди обитающих в Каспии видов рыб (карповых, окуневых и др.), что проявляется многоступенчато в рамках уровневой организации живой материи – клеточном, тканевом, органном, организменном и популяционном. Так, на клеточном уровне наблюдается нарушение стадийности протоплазматического и трофоплазматического роста половых клеток. В течение первого наблюдается фрагментация структуры цитоплазмы, амитоз; на стадии большого роста отмечено наличие деформации части половых клеток, не достигших зрелости, строения их оболочек, ядер, образование полостей, заполненных не характерным для ооцитов веществом неясной этиологии.

Нарушение развития на тканевом уровне характеризуется асинхронностью в формировании половых клеток, частичная или массовая резорбция протоплазматического и трофоплазматического роста, скопление форменных элементов крови в тканях поло-

вых желез на всех этапах роста половых клеток. У самцов отмечено разрушение стенок гонад и образование полостей между ними, установлено наличие жировой ткани между семенными канальцами и др.

На органном уровне нарушение репродуктивного процесса проявляется в виде гермафродитизма, отсутствия корреляции между уровнем развития гонад и возрастом, размером особи, появления на гонадах новообразований и других патологических процессов.

На организменном уровне возможными патологическими процессами в репродуктивной системе рыб может быть снижение их плодовитости, изменение величины гонадосоматического индекса (ГСИ), темпов овогенеза и сперматогенеза.

Что касается популяционного уровня, то в этом случае нарушение репродуктивного процесса характеризуется отсутствием возможности участия особи в процессе нереста, что обусловлено массовой резорбцией, увеличением интервалов между циклами нереста, повышение уровня аномально развитого и нежизнеспособного потомства, а также – существенное снижение плодовитости популяции [12].

Таким образом, целью данного исследования является изучение репродуктивной системы различных видов рыб семейств карповых, сомовых, окуневых и щучьих в условиях вероятного влияния на нее токсикантов, содержащихся в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положен материал, собранный в Аграханском заливе, Южно-Аграханском озере, в дельте Терека и морском секторе Среднего Каспия в течение 23 лет (1999-2022 гг.). За анализируемый период подвергнуты полному биологическому анализу 6120 экземпляров разных видов рыб семейства карповых, сомовых, окуневых и щучьих, встречающихся в промысловых уловах. Наблюдения и сбор материалов проводили с марта по ноябрь. Гистологические и биохимические исследования выполняли в лаборатории кафедры экологии ДГУ и лаборатории экологии и химии, а также – на кафедре гистологии Дагестанского ГАУ. Для изучения морфологии органов размно-

Таблица 1. Параметры морфологических признаков и химико-технологических показателей рыб семейства карповые – Cyprinidae водоемов дельты Терека / **Table 1.** Parameters of morphological features and chemical-technological indicators of fish of the carp family Cyprinidae in the Terek delta reservoirs

Вид рыб	МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ								ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ				
	Размеры тела половозрелых рыб		Сроки наступления половой зрелости, год	Плодовитость		Величины ГСИ, %*	Тип икротетания	Предельный возраст, годы	Диаметр зрелых икринок, мм	Содержание воды в мясе, %	Содержание протеина в мясе, %	Содержание жира в мясе, %	Калорийность 100 г мяса, ккал
	Длина, см	Вес, г		Абсолютная тыс. шт.	Относительная, шт./г								
Сазан													
Самка	30-40	580-640	3-4	32-509	40-230	17,7 ±6,8	порционный	11-12	1,45	78	16,5-19,0	1-7	102
Самец	36,2 ±2,6	611,54 ±21,5		344,6 ±178,1	105,4 ±76,4						17,9 ±1,1	4,1 ±2,3	
Лещ													
Самка	20-30	200-240	3-4	39-206	154-207	7,1 ±2,7	единовременный	11-12	1,30	79	17-18	1-6	95
Самец	26,2 ±3,7	218,8 ±22,6		108,6 ±63,8	189,5 ±21,8						17,4 ±0,5	4,3 ±1,7	
Вобла													
Самка	10-14	30-60	2-3	28-69	134-232	20,4 ±6,7	единовременный	7-8	1,3	79	19	2,2	103
Самец	12,2 ±1,7	46,8 ±11,7		46,5 ±20,4	189,4 ±42,7								
Густера													
Самка	10-20	60-480	2-3	80-340	131-182	17,8 ±10,8	порционный	20	1,25	78	18,4	2,0	92
Самец	16,1 ±3,2	234,65 ±171,9		145,7 ±76,5	151,6 ±17,5								
Карась серебрястый													
Самка	19-32	155-345	2-4	12,1-289,0	108-213	22,0 ±7,8	порционный	7-8	1,4	79	17,7	1,8-3,0	87
Самец	26,1 ±5,4	245,7±43,7		177,6 ±64,3	154,7 ±49,5							2,2 ±0,4	
Рыбец													
Самка	15-31	60-410	3-4	13,5-27,4	610-890	69 ±9,3	переходный	6-8	1,1-1,6	79	18	1,5	87,8
Самец	21,1 ±7,4	266,87 ±123,7		20,5 ±6,8	769,65 ±105,8								
Кутум													
Самка	31-58	850-1600	3-5	33,1-310	40-190	14,4 ±6,2	единовременный	-	1,2-1,4	80	18	0,7	80,3
Самец	42,5 ±12,4	633,45 ±232,67		197,6 ±133,3	113,7 ±61,4								
Красноперка													
Самка	18-29	90-530	2-3	28-142	215-390	14,0 ±6,3	порционный	6-8	0,9-1,1	80	17,5	0,7	78,2
Самец	23,6 ±4,6	345,8 ±177,6		89,7 ±34,6	290,6 ±165,8								
Жерех													
Самка	41-58	840-2800	4-5	52,1-212,8	80-240	15,3 ±8,6	единовременный	8-10	1,3-2,40	75	20	4,0	119
Самец	49,7 ±6,8	1778,65 ±646,78		145,8 ±56,9	172,8 ±54,9								
Линь													
Самка	20-36	200-600	3-4	36-42,7	-	18,7 ±6,32	порционный	5-7	0,9-1,0	79	18	1,5	87,8
Самец	27,9 ±6,8	378,9 ±166,8		38,8 ±1,9									

Примечание: * измерение проведено на IV-V стадии зрелости, среднее значение

жения рыб в естественных условиях анализировались только половозрелые особи.

Гистологические препараты готовились по общепринятой методике и изучались на световом микроскопе Axioimager M.1 (Carl Zeiss, Германия) с увеличением $\times 10$, $\times 40$. Сканирование гистологических препаратов осуществляли на микроскопе Imager.M2 с программным модулем Zen 3.0 (Carl Zeiss, Германия).

При описании этапов и фаз роста, развития и формирования гонад пользовались принятыми в литературе обозначениями и терминами (Шихшабеков и соавт., 2018). Использовалась схема гаметогенеза (ово-, сперматогенеза), составленная М. М. Шихшабековым.

В работе использованы первичные методы статистической обработки результатов. Применялось программное обеспечение Microsoft Office Excel 2016 и IBM STATISTICA 10.

Во время проведения работ биоэтические нормы не нарушены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены параметры морфологических признаков и химико-технологических показателей рыб семейства карповые водоемов дельты Терека.

Так, относительная доля сазана (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) в уловах не превышала 1,5-2%. Установленное сокращение числа младших возрастных групп указывает на недостаточное естественное пополнение популяции. Коэффициент упитанности остается на стабильном уровне и колеблется в пределах от 2,00 до 3,24 единиц. Средняя абсолютная плодовитость самок сазана составила $627,71 \pm 32,27$ тыс. икринок, что соответствует уровню средневзвешенного показателя плодовитости сазана за последние 10 лет. В условиях Каспия для сазана характерен асинхронный трофоплазматический рост ооцитов и порционный нерест. Гистологическое изучение яичников сазана в преднерестовый период (март-апрель) показало, что гонады находятся в IV стадии зрелости, а половые клетки – на разных фазах периода трофоплазматического роста. Интервал между первым и вторым нерестом составлял 15-20 дней. Третью порцию икры самка сазана не успевает выметать из-за нарушения уровня режима в водоемах, она может как резорбироваться, так и участвовать в образовании генерации следующего года.

В последнее время доля леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) в общих уловах колеблется от 6% до 9,4%. Возрастной состав леща в орудиях контрольного порядка остается ограниченным и включает 10 возрастных классов. Количество старших возрастных групп не превышает 2%. Динамика линейно-возрастных показателей леща характеризуется стабильностью, в течение последних 20 лет они остаются практически на одном уровне: промысловая длина составляла 35,6-0,9 см, масса половозрелых особей – 1255,5-110,0 граммов. Средневозрастные значения коэффициента упитанности в течение несколько лет стабильны и составляют у самок – $2,33 \pm 0,05$, у самцов – $2,18 \pm 0,03$ единиц. Показатели абсолютной плодовитости разновозрастных особей леща колеблются в пределах от 54,31 до 856,0 тыс. икринок, а средневзвешенный показатель плодовитости находится в пределах 148-161 тыс. икринок. По характеру нереста лещ характеризуется однократным икрометанием, но отмечается несколько подходов производителей к нерестилищам, поэтому нерест может длиться около месяца. При гистологических исследованиях яичников леща замечена асинхронность развития ооцитов периода вителлогенеза, что более характерно для рыб с порционным нерестом, однако в условиях Каспия лещ откладывает только одну порцию икры, а небольшое количество (около 6-10%) ооцитов фазы вакуолизации резорбируется (рис. 1).

Асинхронность развития гонад самок леща в летний период можно рассматривать как пример адаптации репродуктивной системы рыб к изменениям условий окружающей среды, особенно к колебаниям температурного и уровня режима Каспия. Таким образом, в современных экологических условиях Каспия популяции леща подвергаются естественному и вынужденному внутривидовому дифференцированию и имеют адаптационный механизм для воспроизведения. У самцов также были обнаружены некоторые особенности гаметогенеза. В конце июня семенники переходят во II стадию зрелости, ГСИ – 0,4-0,6%. В течение осенне-зимнего периода сперматогенез замедляется, а весной усиливается, семенники находятся в переходной II-III и III стадиях зрелости. В нерестовый период среди самцов, как и среди самок, встречались

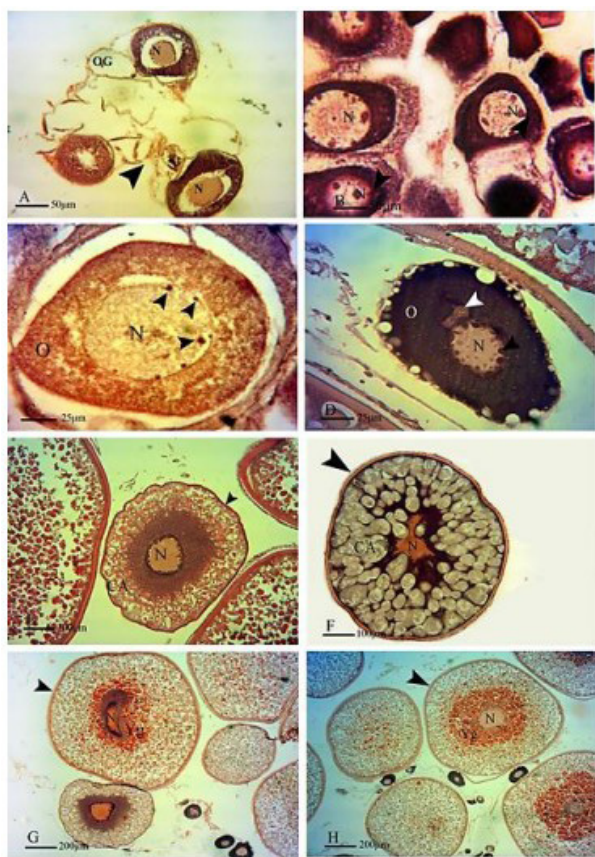


Рисунок 1. Гистологический срез яичника у *Abramis brama* Linnaeus: (A) Ранний хроматин, стадия ядра (черные стрелки: зародышевые клетки) (H&E), (B) поздний хроматин, стадия ядра (черные стрелки: рассеянные ядрышки) (H&E), (C и D) стадия перинуклеуса, несколько ядрышек (черные стрелки) появляются под ядерной мембраной, рядом с ядром появляется ядерный комплекс органелл (тело бальбиани) (белая стрелка), ооплазма (O) интенсивно базофильна. € Ранняя стадия корковых альвеол (H&E), кортикальные альвеолы появляются в периферической зоне ооплазмы (CA), (F) количество альвеол постепенно увеличивается на поздней стадии (PAS), (G) первичная ветиллогенная стадия (H&E): гранулы желтка (Yg) Видны в центральной зоне, легко видны слои фолликулов (черная стрелка) и (H) Вторичная ветиллогенная стадия (H&E), гранулы желтка (Yg) постепенно расширяются и заполняют всю ооплазму (N: ядро и OG: клетки оогонии)

Figure 1. Histological section of the ovary in *Abramis brama* Linnaeus: (A) Early chromatin, nucleus stage (black arrows: germ cells) (H&E), (B) late chromatin, nucleus stage (black arrows: scattered nucleoli) (H&E), (C and D) perinucleolar stage, several nucleoli (black arrows) appear under the nuclear membrane, next to the nucleus, is the nuclear organelle complex (balbiani body) (white arrow), the ooplasm (O) is intensely basophilic, the early stage of cortical alveoli (H&E) cortical alveoli appear in the peripheral zone of the ooplasm (CA), (F) the number of alveoli gradually increases at a late stage stages (PAS), (G) primary vitellogenic stage (H&E); yolk granules (Yg) are visible in the central zone, follicle layers (black arrow) and (H) secondary vitellogenic stage (H&E) are easily visible, yolk granules (Yg) gradually expand and fill the entire ooplasm (N: nucleus and OG: oogonia cells)

половозрелые особи во II стадии зрелости, которые, очевидно, пропускали нерест.

Карась серебристый (*Carassius gibelio*) приобретает половую зрелость в трехлетнем возрасте. При средней длине самок $16,4 \pm 0,46$ см, самцов $14,2 \pm 0,14$ см и массе $204,5 \pm 0,98$ г и $156,2 \pm 1,23$ г, соответственно. Нерестовая популяция карася серебристого представлена однополой формой (триплоидными партеногенетическими самками), но в последние годы есть тенденция к увеличению количества самцов, что может свидетельствовать об ухудшении условий воспроизводства партеногенетических самок в условиях Каспия. Карась серебристый относится к порционно нерестующим рыбам, которым присущ многократный нерест в течение года. Пропусков нереста карася за период исследований обнаружено не было, обычно нерест происходил не менее трех раз. Масса гонад самцов четырехлетнего возраста растет от $1,6 \pm 0,15$ г в июле до $6,2 \pm 0,36$ г в октябре; масса гонад самок возрастает от $8,5 \pm 0,62$ г до $19,8 \pm 0,74$ г, соответственно. Нерест карася серебристого наблюдается при повышении температуры воды выше $+14^\circ\text{C}$, что соответствует второй декаде мая.

Плодовитость рыбака каспийского (*vimba vimba*) в водоемах терской системы колеблется от 13 до 27 тыс. икринок. Плодовитость рыбака в других водоемах значительно выше и имеет более широкий диапазон колебания. Так, плодовитость рыбака в водоемах Европы колеблется от 13,8 до 221,7 тыс. икринок (Вольский и др., 1970), в низовьях Днепра 10-175 тыс. (Мороз, 1965), в среднем Днестре до гидростроительства 20-120 тыс. (Бурнашева др., 1955), тогда как после гидростроительства – 32-82 тыс. (Устарбеков, 2000). О популяции рыбака терской системы можно сказать следующее. Наблюдается мало-возрастная структура популяции (7-8 лет) при довольно кратком достижении половой зрелости самки (3-4 года), когда в нересте участвуют только 3-4 возрастные группы самок; при низкой плодовитости часто происходит мас-

совая резорбция ооцитов первой порции при отсутствии подходящих условий для нереста, в частности, субстрата. В водоемы терской системы, в первые годы после их реконструкции, рыбец заходил для нереста в большом количестве, но более 90% его оставалось у шлюзов. В настоящее время увеличение его численности тем более невозможно, в связи с катастрофическим заилением водоемов и рыбоходных каналов, а также – чрезмерно высокой зарастаемостью камышом, что губительно для размножения литореофила. Перспектива для популяции рыбца Терской системы – постепенное исчезновение, что и наблюдается в настоящее время. Сохранить этого ценного представителя ихтиоценоза можно только путем искусственного воспроизводства. Необходимо также строго запрещать лов на местах нерестовых миграций и скоплений, особенно наблюдаемые у плотинной части шлюзов рыбоходных каналов Терской системы водоемов.

Плодовитость жереха обыкновенного (*Aspius aspius*) находится в пределах от 40 до 400 тыс. икринок. В водоемах Терско-Каспийского района можно отнести его к проходным видам, так как после нереста он сразу же уходит в море для нагула. Миграция вверх по притокам для нереста происходит в апреле-июне. Появляется в быстротечной воде на гравии или затопленной растительности. Население озер мигрирует к притокам; полупроходная популяция или особи (Терек) кормятся в основном в устьях рек и в опресненных частях моря, мигрируя в реки только на нерест. Начинается нерестовая миграция во второй половине октября (Терек) и зимует в низовьях реки. Половая зрелость наступает через 4-5 лет. Репродуктивный успех, похоже, связан с низким уровнем воды и высокими весенними температурами. Высокая эффективность нереста жереха в данных водоемах не обеспечивается из-за недостаточности мест с проточной водой и галечно-песчаным грунтом, резким колебанием уровня воды и неблагоприятным термическим режимом, на что необходимо обратить внимание рыбохозяйственным органам. Необходимо в период размножения установить запрет на отлов в целях увеличения промысловой, санитарной и биомелиораторской значимости и пищевой ценности этого промыслового вида рыб.

Среди других видов рыб семейства карповых, то за анализируемый период каких-ли-

бо отклонений в репродуктивной системе мы не выявили.

В таблице 2 представлены параметры морфологических признаков и химико-технологических показателей рыб семейства окуневые, кефалиевые, сомовые и щуцы водоемов дельты Терека.

Нерест щуки обыкновенной (*Esox lucius* L.) в условиях Каспия обычно начинается ранней весной при температуре воды 3-6°C. Щука – фитофил и откладывает икру на растительность. Нерест происходит очень интенсивно на мелководьях с прошлогодней мягкой растительностью. Соотношение самцов и самок во время нереста зарегистрировано 4:1. Впервые половозрелыми становятся самки щуки в возрасте трех лет при средней длине 37,0-40,0 см и массе тела 546,1-610,0 г, самцы в возрасте двух лет при длине 24,8-28,8 см и массе тела 256,5-262,6 граммов. Большинство исследований воспроизводства щуки проводилось в контролируемых условиях, с точки зрения аквакультуры, и, следовательно, не могли быть репрезентативными для естественных ситуаций нереста. Однако было показано, что между популяциями и даже между отдельными щуками аналогичного размера и возраста существует значительная вариативность в плодовитости, размер при созревании, время нереста, скорость роста. Абсолютная и относительная плодовитость щуки выявила положительную связь между количеством ооцитов и длиной, и весом рыбы, которая аналогична тем, которые были получены Манном (1976) и Бензером и др. (2010); поэтому более крупные самки вносят больший вклад в производство яйцеклеток, чем более мелкие. С морфологической точки зрения структура и развитие яичников не отличаются от развития гонад в других регионах, хотя щука представляет вариации в свой нерестовый сезон, вариации, которые связаны с ее географическим распределением. Пространственные различия в репродуктивных характеристиках указывают на то, что репродуктивные показатели различаются в разных географических регионах. Кроме того, изучение репродуктивных характеристик щуки в более теплом регионе может помочь визуализировать как изменение климата может повлиять на ее воспроизводство в северных районах. Это

Таблица 2. Параметры морфологических признаков и химико-технологических показателей семейства рыб водоемов дельты Терека / **Table 2.** Parameters of morphological features and chemical-technological indicators of fish families of the Terek delta water bodies

Вид рыб пол	МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ								ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ				
	Размеры тела половозрелых рыб		Сроки наступления половой зрелости, год	Плодовитость		Величины ГСИ, %*	Тип икротетания	Предельный возраст, годы	Диаметр зрелых икринок, мм	Содержание воды в мясе, %	Содержание протеина в мясе, %	Содержание жира в мясе, %	Калорийность 100 г мяса, ккал
	Длина, см	Вес, г		Абсолютная тыс. шт.	Относительная, шт./г								
Семейство окуневые - Percidae													
Окунь													
Самка	13-16	45-60	2-3	7-62	11-245	16,3 ±2,0	един.	8	1,2 ±0,02	79 ±2,4	18,5 ±2,3	0,9 ±0,01	82 ±3,5
Самец	14,1 ±1,7	51,2 ±8,6		35,7 ±21,8	166,9 ±87,6						17,9 ±1,1	4,1 ±2,3	
Судак													
Самка	36-38	480-500	3-4	44-416	107-286	12,1 ±2,95	един.	12	1,1 ±0,01	79 ±2,5	19,0 ±1,4	0,5 ±0,02	82 ±2,6
Самец	36,9 ±0,7	11,2 ±9,5		245,8 ±157,6	196,9 ±67,9						17,4 ±0,5	4,3 ±1,7	
Семейство кефалиевые - Mydilidae													
Сингиль													
Самка	25-40	750-1100	3-4	500-1500	-	12,0 ±3,1	един.	8	0,7 ±0,02	72 ±2,6	20±2,1	7,9±1,1	156 ±8,4
Самец	11,6 ±4,8	854,67 ±277,6		1022,67 ±356,7									
Семейство сомовые - Siluridae													
Сом													
Самка	40-42	120-400	3-4	14-285	17-42	11,0 ±0,56	един. (перх)	10	3,0 ±0,03	78 ±2,1	16±1,4	4,1 ±0,6	103 ±5,7
Самец	41,2 ±0,7	233,7 ±128,9		154,7 ±112,7	24,7 ±11,9								
Семейство щуки - Esocidae Щука													
Самка	34-36	340-400	3-4	12-132	130-262	144 ±5,8	един.	30	3,1 ±0,02	80 ±3,2	18 ±2,6	0,8 ±0,003	81 ±2,7
Самец	34,9 ±0,78	369,67 ±24,8		114,78 ±80,3	199,78 ±86,5								

также может иметь некоторое отношение к управлению популяциями щуки, которые, как известно, были завезены в регионы более высоких широт. Чрезмерный отлов этого вида может быть проблемой на юго-западе Каспия. Если произойдет беспорядочный сбор, количество рыб, достигших зрелости, может сократиться до такой степени, что репродуктивная способность популяции снизится. Одним из способов снижения этого риска является обеспечение минимального давления на популяцию до того как рыба достигнет зрелости. Считаем возможным для восстановления и сохранения запасов щуки искусственное воспроизводство. Кроме того, учитывая сезон нереста (февраль и март),

сезонное закрытие может быть разработано для защиты ключевых стадий жизни.

На всех участках и во все годы исследований доля судака обыкновенного (*Sander lucioperca*) старше 6 лет составляла менее 1% от годового улова. Общая длина большинства судаков находилась в пределах 25-35 см. В изученной популяции судака наблюдалось несколько неблагоприятных изменений. На всех участках исследования наблюдалась высокая смертность и снижение численности крупных особей (общая длина ≥40 см), а доля крупных особей была низкой. Небольшие изменения, наблюдаемые в параметрах качества воды и состояния эвтрофикации, различались между районами и не могли объяснить последовательное

снижение численности крупного судака, наблюдаемое в районах исследования. Водоёмы Терской системы и, в частности, озеро Ю. Аграхан очень заилены, в связи с чем нерестилища этого вида наиболее часто обнаруживаются в устьевых районах рек. При этом массовые нерестовые скопления особей судака не обнаружены. Судак, обитающий в водоёмах дельты Терека характеризуется единовременным икрометанием и достаточно кратковременным периодом нереста, но при этом у аграханского судака период нереста оказался более продолжительным. У терского судака была выявлена дифференциация в отношении характера гаметогенеза, а у судака, обитающего непосредственно в Аграханском заливе после его реконструкции, в связи с ухудшением условий, трофоплазматический рост ооцитов некоторых самок отмечается наличием асинхронности, но нерест при этом также единовременный.

Кроме того, у самок всех видов рыб, обитающих и нерестящихся на территории Каспия, были выявлены различные формы гермафродитизма, что, вероятно, связано с нарушениями на органном уровне. Были выявлены нарушения репродуктивной системы у многих особей анализируемых видов рыб в виде деструкции гонад, образования полостей в тканях половых желез, соединительнотканых разрастаний, разрушения половых клеток, новообразований гонад. Установлено, что преодоление одного и того же экологического эффекта, снижения или наращивания временных границ цикла икрометания у видов рыб с различающимися особенностями созревания ооцитов и разным типом нереста осуществляется разнообразными путями. Для видов рыб, которые имеют более короткий период нереста (вобла, щука и окунь), характерной является общая специфика годовых циклов половых желез, заключающаяся в абсолютном окончании сперматогенеза к периоду начала икрометания, отсутствии созревания или нового образования половых продуктов в этом процессе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение репродуктивной системы различных видов рыб семейств карповых, сомовых, окуневых и щучьих в условиях вероятного на нее влияния токсикантов,

содержащихся в водоёмах Дагестанской части Среднего Каспия, показало нарушения репродуктивной системы у многих особей анализируемых видов рыб. В частности, влиянию изменившихся условий обитания, под действием различных токсикантов, подверглись особи таких видов рыб Каспия как: сазан, лещ, карась серебристый, рыбец каспийский, жерех обыкновенный, щука обыкновенная, судак обыкновенный. В наибольшей доле анализируемых образцов обнаружено несоответствие уровня развития половых желез и половых клеток возрасту, величине и массе, а также деструкция гонад.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. *Arpe K, Leroy SAG, Lahijani H, Khan V* (2012) Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level. *Hydrol Earth System Sci* 16:19-27.
2. *Алиев А.Б., Шихшабекова И.Б., Мусаева И. В.* [и др.] Результаты деятельности и перспективы развития рыбной отрасли Республики Дагестан // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1(45). С. 134-140.
3. *Абдусаматов А.С.* Состояние биоресурсов Дагестанского побережья Каспия и перспективы их хозяйственного освоения // Биологическое разнообразие Кавказа: матер. междунауч.-практ. конф. Махачкала. 2002. С. 144-149.
4. *Гаджиев А.А., Шихшабеков М.М., Стальмакова В.П., Бархалов Р.М.* Экологические и социально-экономические последствия колебания Каспия // ВУЗ и АПК: задачи, проблемы и пути их решения: мат. межрег. науч. практ. конф. Махачкала. 2002. С. 208-210.
5. *Таиров Э.Х.* Промысловые рыбы малого Кызылагачского залива Каспийского моря / Э. Х. Таиров // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Махачкала, 21 июня 2014 года. – Махачкала: Дагестанский государственный педагогический университет. 2014. С. 124-126. EDN VHKEON.
6. *Демин Д.З.* Пути рыбохозяйственной реконструкции гидрологической структуры дельты Терека в условиях пониженного уровня Каспийского моря // Проблемы Каспийского моря. Баку: Изд-во АН АЗССР. 1963. С. 172.

7. Шихшабеков М.М., Бархалов Р. Закономерности функционирования репродуктивных систем рыб // Успехи современного естествознания. М.: Академия естественных наук, 2004. №4. С.156-157.
8. Шихшабеков М.М., Исрапов И.М. Экология рыб дагестанского побережья Среднего Каспия: Изд-во «Юпитер». 2005. 445 с.
9. Акимова Н.В., Рубан Г.И. Систематизация нарушений воспроизводства осетровых (*Acipenseridae*) при антропогенном воздействии // Вопросы ихтиологии. 1996. Т.36. №1. С. 65-80.
10. Романов А.А., Алтуфьев Ю.В. Новообразования в половых железах и печени осетровых рыб (*Acipenseridae*) Каспийского моря // Вопросы ихтиологии. 1990. Т. 30. Вып. 6. С. 1040-1043.
11. Бархалов Р.М., Рабазанов Н.И., Шихшабеков М.М., Курбанов М.С. Сохранение биологических ресурсов Каспийского моря – основная задача рыбохозяйственной науки // Мат. научно-практ. конф. с междунар. участием: «Интенсивная аквакультура на современном этапе развития»: Махачкала: Экопресс. 2013. С. 178-182.
12. Гаджимурадов Г.Ш., Шихшабеков М.М. Особенности функционирования и адаптивная реакция репродуктивных систем рыб в реконструированных водоемах. – Москва. Изд-во «Камертон». 2012. 200 с.
- the Caspian Sea // University and agroindustrial complex: tasks, problems and ways to solve them: mat. interreg. scientific. practical. conf. Makhachkala. Pp. 208-210. (In Russ.)
5. Tairov E.H. (2014). Commercial fish of the small Kyzylagach Bay of the Caspian Sea / E. H. Tairov // Biodiversity and rational use of natural resources: Materials of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation, Makhachkala, June 21, 2014. – Makhachkala: Dagestan State Pedagogical University. Pp. 124-126. EDN VHKEON. (In Russ.)
6. Demin D.Z. (1963). Ways of fishery reconstruction of the hydrological structure of the Terek delta in conditions of a low level of the Caspian Sea // Problems of the Caspian Sea. Baku: Publishing House of the Academy of Sciences of the AzSSR. p. 172. (In Russ.)
7. Shikhshabekov M.M., Barkhalov R. (2004). Regularities of the functioning of reproductive systems of fish // Successes of modern natural science. Moscow: Academy of Natural Sciences. No.4. Pp.156-157. (In Russ.)
8. Shikhshabekov M.M., Israpov I.M. (2005). Ecology of fish of the Dagestan coast of the Middle Caspian: Publishing house «Jupiter». 445 p. (In Russ.)
9. Akimova N.V., Ruban G.I. (1996). Systematization of violations of reproduction of sturgeon (*Acipenseridae*) under anthropogenic influence // Questions of ichthyology. Vol.36. No.1. Pp.65-80. (In Russ.)
10. Romanov A.A., Altufyev Yu.V. (1990). Neoplasms in the gonads and liver of sturgeon (*Acipenseridae*) The Caspian Sea // Questions of ichthyology. Vol. 30. Issue. 6. Pp. 1040-1043. (In Russ.)
11. Barkhalov R.M., Rabazanov N.I., Shikhshabekov M.M., Kurbanov M.S. (2013). Conservation of biological resources of the Caspian Sea - the main task of fisheries science // Mat. scientific and practical conference with international participation: «Intensive aquaculture at the present stage of development»: Makhachkala: Eco-press. Pp. 178-182. (In Russ.)
12. Gadzhimuradov G.Sh., Shikhshabekov M.M. (2012). Features of functioning and adaptive response of fish reproductive systems in reconstructed reservoirs. – Moscow. Publishing house «Kamerton». 200 p. (In Russ.)

LITERATURE AND SOURCES

1. Arpe K, Leroy SAG, Lahijani H, Khan V (2012) Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level. Hydrol Earth System Sci 16:19-27.
2. Aliev A.B., Shikhshabekova I.B., Musaeva I. V. [et al.] (2021). Results of activity and prospects for the development of the fishing industry of the Republic of Dagestan // Problems of the development of the agroindustrial complex of the region. No. 1(45). Pp. 134-140. (In Russ.)
3. Abdusamadov A.S. (2002). The state of biological resources of the Dagestan coast of the Caspian Sea and prospects for their economic development // Biological diversity of the Caucasus: mater. international scientific and practical conference. Makhachkala. Pp. 144-149. (In Russ.)
4. Gadzhiev A.A., Shikhshabekov M.M., Stalmakova V.P., Barkhalov R.M. (2002). Ecological and socio-economic consequences of fluctuations in

Материал поступил в редакцию/ Received 11.12.2023
 Принят к публикации / Accepted for publication 12.01.2024