

УДК 597.442:628.394.12 (262.81)

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

© 2006 П.П. Гераскин

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Астрахань

Приведены обобщающие материалы многолетних исследований физиологического состояния осетровых рыб в морской и речной периоды жизни. Оценено влияние на их физиологический статус загрязнения Каспийского моря токсичными веществами в период острой и хронической интоксикации. Показаны изменения и нарушения, возникающие в морфологической структуре ткани печени и мышц, метаболических процессах, обеспечивающих постоянство внутренней среды и ферментативной активности энергетического обмена. Охарактеризованы последствия функциональных и морфологических изменений в организме осетровых, в том числе и влияние на репродуктивный потенциал осетровых рыб.

Процветание любого вида рыб зависит от условий, в которых он, существуя, взаимодействует с биотическими и абиотическими факторами среды обитания. Наряду с уровнем обеспечения пищей, существенную роль играет и степень соответствия адаптационных механизмов организма условиям внешней среды. Осетровые за многомиллионные годы существования приспособились к изменяющимся природным факторам Каспийского моря. Адаптационная пластичность этих рыб обеспечивается не только высокой генетической гетерогенностью на популяционном уровне [17, 29, 36], но и экологической разнородностью, проявляемой на видовом [9, 30]. Такой многоуровневый адаптационный механизм позволил каспийским осетровым, в сравнении с другими районами обитания, поддерживать долгое время в целом относительно высокую их численность. Колебания уровня Каспийского моря и, в соответствии с ними, изменения гидрохимического режима, влияющие на экосистему водоема, компенсировались экологическим разнообразием представленных в нем видов и их генетическим многообразием, позволившим занять разные экологические ниши в нерестовых реках. Однако, наряду с природными факторами среды, в начале XX в. стали заметны и факторы антропогенного характера, которые к концу 1980-х годов приобрели немаловаж-

ное значение [6, 24]. Первые признаки влияния антропогенной нагрузки на осетровых рыб появились сразу после зарегулирования р. Волги плотинами ГЭС в ее нижнем течении. Так, в результате гидростроительства Волгоградской ГЭС существенно изменились условия миграции, зимовки и размножения большинства видов осетровых рыб. Это не могло ни сказаться на функциональном состоянии осетровых и нашло свое отражение в резорбции яйцеклеток на последних стадиях созревания [3]. Одной из причин такого явления считалось отсутствие условий для нереста при наступлении нерестовых температур. Другая причина, приводившая к резорбции икры у осетровых рыб, – изменение условий зимовки и гидротермического режима в осенний и преднерестовый период озимых рас русского осетра и белуги, скапливающихся в предплотинной зоне Волгоградской ГЭС [1, 28, 43]. Неустойчивый гидрологический режим в зимний период, попуски «теплой» воды из Волгоградского водохранилища в осенний период (на 3-4<sup>0</sup>С выше среднесезонных 1948-1957 гг.) вызывали у зимующих рыб стрессовое состояние. Вследствие этого у ослабленных рыб развивалась анемия, появлялись признаки общего истощения, возникала долевая и тотальная резорбция икры. Менее ощутимые последствия ухудшения физиологического состояния самок проявля-

лись на начальных стадиях резорбции ооцитов в наличии обратной связи между уровнем его ухудшения и эффективностью естественного воспроизводства (чем хуже – тем меньше).

Стремительный рост в 1960-1970 гг. промышленного и сельскохозяйственного производства, а вследствие этого и судоходства, без должного внимания к очистке сточных вод и применению экологически безопасных технологий выращивания сельскохозяйственной продукции, вызвал существенное загрязнение р. Волги и Каспийского моря токсичными для гидробионтов веществами. К концу 1980-х годов уровень загрязнения достиг критических величин [25], усугубляемых в настоящее время разработками в море углеводородного сырья. Современная загрязненность Каспия характеризуется прежде всего содержанием повышенных концентраций нефтеуглеводородов, которые выявляются во всех районах моря в больших или меньших количествах [6]. При этом каждому из регионов моря и временному промежутку (начиная с 1980-х годов) свойственен свой дополнительный набор токсических веществ, из которых в качестве доминирующих могут выступать различные классы токсикантов: фенолы, пестициды и в некоторых случаях тяжелые металлы. С этого времени загрязнение водоема достигло такого уровня, что по степени воздействия на рыб уже не стало уступать природным факторам. Оно вылилось в постоянно действующий новый фактор негативного характера с изменяющимися параметрами токсичности как во времени, так и в пространстве.

### Материал и методика

Материалом служили данные, полученные в период 1987-2003 гг. при мониторинговых исследованиях комплекса физиолого-биохимических и гистофизиологических показателей у русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt), севрюги (*Acipenser stellatus* Pallas) и белуги (*Huso huso* Linnaeus) в морской и речной периоды жизни. В основу параметров относительно нормального состояния организма осетровых были заложены материалы, полученные в 60-70-х годах XX в.

Учитывая высокую ценность осетровых и необычайность сложившейся ситуации в Каспийском море, была разработана методология мониторинга физиологического состояния этих рыб [11]. В основу стратегии проводимых мониторинговых исследований был заложен принцип изучения и оценки степени изменений и нарушений в разных функциональных системах организма и уровнях его организации. Подобран комплекс показателей, включающих в себя оценку состояния органов и тканей методами классической гистологии и функциональных изменений – методами биохимического анализа. Предложенная индикаторная система позволяла оценивать не только реакцию организма на воздействие токсикантов, но и отражала последствия и весь спектр (длительность и частоту) временного контакта с ними, т.е. кумулятивный эффект, давала возможность проследить направленность динамики процессов (положительная, отрицательная или стабильная), протекающих в популяциях рыб, прогнозировать возможные изменения роста, развития, сроков полового созревания, межнерестовых периодов, эффективность пополнения, а также уровень естественной смертности. Таким условиям, на наш взгляд, удовлетворял следующий ряд физиолого-биохимических показателей: скорость перекисного окисления липидов, активность антиоксидантов, цитохромоксидазы и лактатдегидрогеназы – в белых мышцах и печени, содержание гликогена в последней, концентрация белка, гемоглобина, холестерина,  $\beta$ -липопротеидов, фосфолипидов, а также естественного фактора ингибирования активности антител класса «М» в крови. Там же – содержание лейкоцитов и их видовой состав. Из гистофизиологических показателей – морфофункциональное состояние печени, жабр, белых мышц спины и гонад.

### Результаты исследования

Анализ многолетних материалов по мониторингу физиологического состояния осетровых Каспийского моря показал, что загрязнение среды обитания рыб приводит сначала к функциональным изменениям в их организме, а затем к структурным перестройкам

в тканях мышц, печени, селезенки, почек, гонад. Частые, но небольшого уровня по силе, воздействия на организм приводят вначале к мобилизации регуляторно-гомеостатической функции с увеличением энергозатрат за счет резервных веществ, а именно повышенным тратам гликогена в печени и снижении его запасов примерно вдвое при увеличении в крови холестерина на 20%, являющегося предшественником кортикостероидов, и на 30-40% – липидов. Интегральным выражением функциональных изменений стало замедление темпов онтогенетического развития осетровых, проявившееся в снижении темпа формирования гемоглобиновой системы [33], и задержке развития половых желез [38, 39]. Кроме того, у части рыб зафиксировано появление амитозов и многоядерных ооцитов с цитотомией.

Наиболее существенные изменения в физиологическом состоянии рыб зафиксированы в конце 80-х начале 90-х годов, когда были обнаружены значительные изменения в физиолого-биохимических показателях, а также разнообразие и глубина нарушений в морфофункциональном состоянии тканей мышц, печени и гонад.

В печени были отмечены в различной степени белковая и жировая дистрофия, нарушения пигментного обмена, признаки воспалительного процесса, сосудистые нарушения, а в тяжелых случаях – цирротические явления, некроз гепатоцитов. Существенно изменяется и состав цитоплазматических белков ткани печени. Доля «легких» белков при появлении первых признаков структурных нарушений увеличивается на 25%, а с углублением патологии еще на 20%, что в общей сложности повышает удельный вес этих белков в цитоплазме гепатоцитов в 1,5 раза, у рыб с патологией печени – в 3 раза и выше, по сравнению с нормальной печенью. Содержание умеренно подвижных белков падает вначале на 6%, а затем еще на 16% или в общей сложности в 1,3 раза. Содержание медленных белков увеличивается от первой группы рыб к третьей лишь в 1,2 раза. Кроме печени, в этот процесс вовлекаются и другие внутренние органы [15]. В почках обнаружены белковая дистрофия и хронический

межуточный нефрит, в селезенке – сосудистые нарушения. В мышцах патологические изменения у некоторых рыб достигали максимального уровня, при котором отмечается деструкция мышечных волокон и ее конечная стадия – лизис остатков миофибрилл и соединительной ткани [2]. При далеко зашедшем патологическом процессе в ультраструктуре мышц наблюдались изменения в рисунке саркомеров, снижение количества рибосом, исчезновение структуры аппарата Гольджи. У рыб с высокой патологией мышечной ткани зафиксировано обеднение белкового состава мышц [14]. У части рыб обнаружена повышенная функциональная активность интерренальной железы (гомолог коры надпочечников высших позвоночных), у большинства других она находилась в состоянии функционального напряжения и истощения, что является следствием интенсивного и длительного функционирования. В результате этого отмечалось ингибирование процесса синтеза кортикостероидов и снижение поступления в кровь кортизола [3-5]. В это время наблюдается также снижение секреции в кровь половых гормонов, таких, как тестостерон и эстрадиол, у самок русского осетра – примерно в 3 раза. Нарушения гормональной функции сказываются и на состоянии половых желез осетровых рыб. В это время патологии гаметогенеза осетровых достигают своего максимума: это не только большое разнообразие патологий (изменения в оболочках, цитоплазме, ядре, морфозы, «биохимические» изменения, которые выражались в их нетипичной окраске на гистологических препаратах, опухоли и тератогенные эффекты), но и высокая частота встречаемости таких рыб [38]. У русского осетра и севрюги самки с «деформированными» оболочками ооцитов составляли более 40% от числа проанализированных. У всех исследованных видов выявлены также нарушения в виде морфозов, которые рассматриваются как «уродства» ооцитов, не свойственные виду, а в яичниках и семенниках некоторых рыб – локальные центры поперечно-полосатой мышечной ткани (тератогенные эффекты). В яичниках, семенниках и печени осетровых рыб были обнаружены новообразования (опухоли). Поми-

мо явных морфологических изменений в строении ооцита были выявлены нарушения, связанные с биохимическими отклонениями в оболочке и ядре, которые выражались в их нетипичной окраске на гистологических препаратах. Этому периоду времени характерно проявление всех фаз резорбции ооцитов и появление новых, ранее не встречавшихся нарушений: изменения в структуре ядра и вокруг него у самок на стадии трофоплазматического роста при отсутствии явных нарушений в оболочке и цитоплазме.

Изменилась и степень «вооруженности» защитных сил организма рыб. В крови у всех трех видов – русского осетра, севрюги и белуги количество – лейкоцитов снизилось в 2-3 раза при существенном изменении соотношения видового состава лейкоцитов (лейкоцитарной формулы). Если ранее белая кровь носила ярко выраженный лимфоидный характер, то в результате ее трансформации стали преобладать миелоидные клетки с явным преимуществом бластических, отсутствующих ранее. Увеличение количества гранулоцитов и снижение числа лимфоцитов привело к резкому, в 8-14 раз, повышению индекса сдвига лейкоцитов [41]. Из-за дефицита лимфоцитов существенно снизилась антителобразовательная функция организма и его защищенность от внешних воздействий микробиологического характера и ксенобиотиков. Об этом же говорят данные по величине индекса ингибирования активности антител класса «М» в крови у русского осетра, севрюги и белуги, достигающие 2-х и более единиц, что свидетельствует о высоком уровне у них вторичного (приобретенного) иммунодефицита (Гераскин и др., 1999). Следствием этого стало повышение обсемененности мышц и внутренних органов рыб микроорганизмами, составившими в среднем в мышцах  $5,6 \cdot 10^{-6}$ , в печени –  $4 \cdot 10^{-6}$  микробных тел на 1 г ткани при наблюдавшихся ранее  $10^2$ - $10^4$  степенях обсеменения [23]. В угнетенном состоянии находится и другая защитная система осетровых – антиоксидантная, признаком чего является низкий уровень общей антиоксидантной активности в мышцах и печени [8, 12].

Одной из первой реагирует на создавшуюся экологическую ситуацию в водоеме энергетическая система осетровых. Характер ее функционирования изменяется. У рыб, имеющих признаки токсикоза, уровень активности ключевых ферментов аэробного (цитохромоксидазы) и анаэробного (лактатдегидрогеназы) обменов в печени и белых мышцах существенно трансформируется [12, 31]. Активность цитохромоксидазы в печени снижается настолько, что становится в 2-2,5 раза меньше, чем в белых мышцах, что явно противоречит нормальному распределению функциональной активности ферментных систем, регулирующих аэробные и анаэробные процессы в энергетическом обмене печени и белых мышцах. Кроме того, у части рыб выявляется исключительно низкая активность цитохромоксидазы как в печени, так и в мышцах. Другая часть рыб характеризуется не только низким уровнем активности цитохромоксидазы в печени и мышцах, но и лактатдегидрогеназы – ключевого фермента анаэробного гликолиза.

Исследования водно-солевого обмена [21, 35] выявили существенные изменения и в параметрах этой физиологической системы. У осетровых, имеющих признаки токсикоза, существенно увеличивается концентрация ионов кальция в мышечной ткани при снижении количества воды и содержания ионов калия – важнейшего и доминирующего внутриклеточного элемента. В сыворотке крови у таких рыб при относительной стабильности основного осмосоздающего иона натрия  $Ca/Na$ -коэффициент существенно увеличивается по сравнению с рыбами, выловленными в 1970-х годах. Отметим при этом, что ионный гомеостаз является одной из консервативных функциональных систем организма рыб.

В метаболических процессах, поддерживающих регуляторно-гомеостатическую функцию, четко прослеживалась тенденция изменения уровня суммарного количества сывороточных белков в сторону развития гипопроотеинемии, особенно у русского осетра, и гипобеталипопротеидемии. Отмечались случаи появления рыб как с экстремально высоким уровнем общих липидов и холесте-

рина, так и с аномально низкими значениями этих параметров. То есть, из физиолого-биохимических показателей, характеризующих белковый, липидный и углеводный обмен исследованных ранее рыб, изменениям подверглась их большая часть [16, 32, 45]. Концентрации в крови общего белка,  $\beta$ -липопротеидов и холестерина стали составлять от 60% до 80% от имевших место ранее среднегодовалых величин у рыб в море. При этом наблюдалось увеличение в среднем на 20-40% содержания в крови общих липидов. Содержание гликогена в печени и мышцах осетровых снизилось более чем в 2 раза, а запасы его в ооцитах, мигрирующих на нерест самок, сократились на 20%.

Зафиксировано и ухудшение гематологических показателей, смещение в меньшую сторону в сравнении с прежними величинами в большей или меньшей степени концентрации гемоглобина [32, 41, 42]. Кроме того, зафиксирован гемолиз и появление патологических форм эритроцитов.

Такую реакцию осетровых рыб на токсическое воздействие окружающей среды можно оценить как острый токсикоз в форме гепатотоксической гипоксии, представляющей собой токсическое поражение печени с существенным снижением поступления в гепатоциты кислорода из-за ингибирования активности цитохромоксидазы [10]. Она является результатом существенного повышения в этот период содержания в воде Северного Каспия нефтепродуктов, пестицидов и фенолов [18, 34, 37]. Максимальные концентрации углеводородов в Северном Каспии достигали в конце 80-х годов 21-32 ПДК. Средняя концентрация в морских водах фенолов была также высока – 3,0-9,0 ПДК, как и суммарное содержание хлорорганических пестицидов. Загрязненность ХОП Северного Каспия в это время увеличилась в 2-2,5 раза по отношению к предыдущим годам, а максимальные концентрации в воде таких групп пестицидов, как еГХЦГ и еДДТ, достигли, соответственно, 2,7 и 3,5 мкг/л [24, 27, 34].

Наблюдаемые в 90-е годы и позже повышенные стоки рек Волги и Урала, увеличение объема моря, снижение промышленного и сельскохозяйственного производства на во-

досборной площади моря, уменьшение судоходства как в море, так и в реках, не улучшили коренным образом токсикологическую ситуацию на Каспии [7]. Все это способствовало лишь некоторой стабилизации, а по отдельным видам загрязнения, например пестицидного, - его снижения. В настоящее время среди токсикантов, выявляемых в морской воде, ведущее место занимают углеводороды, содержание которых может существенно колебаться по годам и в зависимости от исследуемых участков моря [40].

Вследствие этого отмечаемый у осетровых рыб токсикоз, перешел в хроническую форму со свойственным ему неустойчивым функционированием физиологических систем. То есть наблюдаются колебания между относительной нормой и отклонениями, отмечаемыми при остром токсикозе, но не достигающие их уровней. Соответственно, этот период характеризуется некоторым снижением тяжести патологических процессов в организме осетровых. Имеет место уменьшение отклонений в водно-солевом обмене и, прежде всего, Ca/Na-коэффициента [35]. Частично восстанавливается защитная система организма, увеличивается количество лейкоцитов и снижается почти до нормы индекс их сдвига. Антиоксидантная система начинает адекватно реагировать на неблагоприятные факторы внешней среды: при увеличении в тканях печени свободных радикалов увеличивается и активность антиоксидантов. Наиболее характерным для этого времени является анемия и гипопропротеинемия, часто сопровождаемая диспротеинемией (изменением соотношения белкового состава крови). В большей степени это касается русского осетра и белуги. Поддержанию гипоксии в организме способствуют и различного рода нарушения в эпителии жаберного аппарата. Активности ферментов энергетического обмена в большей мере характерны пониженные и низкие уровни.

Заметно снизилась у осетровых, нагуливающих в море, патология гаметогенеза и, в первую очередь, их видовое разнообразие. Основным видом нарушений процессов гаметогенеза у осетровых становятся изменения в ядре ооцитов протоплазматиче-

ческого роста, хотя остальные виды ещё встречаются, но в гораздо меньших количествах. Степень патологии мышц несколько снизилась, оставаясь немного выше границы «норма-патология» с соответствующим уменьшением удельного веса таких рыб. Морфофункциональное состояние печени характеризуется чередой подъемов и спадов степени поражения этого органа.

Анализ полученных материалов в межгодовом и межсезонном аспекте обнаружил зависимость физиологического состояния исследованных рыб не только от экологической обстановки, складывающейся ко времени наблюдений, но также и предшествующей ему период. Этим объясняются достаточно существенные межсезонные и межгодовые его колебания с ухудшением или улучшением физиолого-биохимических и гистологических показателей. За все годы наблюдений полного восстановления физиологического статуса осетровых до уровня 1960-1970 гг. не зафиксировано. Каких-либо четко выраженных закономерностей в изменении физиологического благополучия осетровых рыб по сезонам года, как и выловленных в различных районах моря, также не найдено. Однако данные последних исследований показывают некоторую приуроченность до известной степени устойчивого воздействия неблагоприятных факторов среды на рыб к восточной части Каспия, особенно к югу, и периодически возникающего – к северной. Многолетние материалы исследований данного комплекса физиолого-биохимических и гистологических показателей позволили выделить в уровне воздействия на рыб неблагоприятных факторов среды две составляющие – относительно постоянную и переменную. Постоянная обусловлена чаще всего общим характером загрязнения в целом Каспийского моря, т.е. совокупностью всех видов токсических веществ, создающих «токсический фон», поддерживающий явления хронического токсикоза. Переменная зависит от концентраций, токсичности и сочетания основных на данное время и района моря вида загрязнений, приводящих к тому или иному уровню и длительности ухудшения физиологического состояния рыб. Токсиканты воздействуют на

рыб не только непосредственно, но и опосредованно – через кормовые объекты, кумулирующие токсические вещества из внешней среды. Как правило, физиологическое состояние рыб является результирующей сложного процесса адапционно-компенсационных реакций на данные составляющие неблагоприятных факторов среды, функциональной кумуляции и остаточных явлений предыдущих воздействий. При этом наблюдаются видовые различия в реакции осетра, севрюги и белуги на действие неблагоприятных факторов среды. Более «бурно» реагирует севрюга, слабее – осетр и белуга. Выраженность повреждающего действия неблагоприятных факторов среды носит вероятностный характер и прослеживается в большей мере на уровне популяций. Чем выше уровень воздействия, тем у большей части популяции регистрируется эффект. Исходя из степени регистрируемых отклонений можно выделить минимум три группы рыб: относительно благополучные, находящиеся в пограничном (предпатологическом) состоянии и особи со значительными отклонениями и нарушениями. Соотношение этих групп в общей массе исследуемых рыб может колебаться в зависимости от складывающихся в этот период условий как в пределах одного года, т.е. в различные сезоны, так и при сравнении в целом по годам. Наихудшим вариантом существенного изменения физиологического состояния осетровых рыб становится их гибель. Она наблюдалась в период миграции русского осетра и севрюги на нерест в Волгу в годы с наибольшей трансформацией физиолого-биохимического статуса этих рыб – летом 1987 и 1988 гг.

Не менее существенными являются последствия ухудшения физиологического состояния осетровых, выражающиеся в снижении темпа роста, в первую очередь из-за использования части белковых веществ на энергетические нужды и существенном снижении воспроизводительного потенциала, связанного с удлинением времени вступления в репродукционную стадию и межнерестовых периодов, а также патологических изменений, сопровождающих гонадо- и гаметогенез осетровых. Это предположение

напрямую подтверждается данными ихтиологических исследований [20], констатирующих снижение темпа роста и индивидуальной плодовитости. Уменьшение массы тела у русского осетра одновозрастных категорий, в сравнении с периодом 1981-1989 гг., достигало 5,5 кг при минимуме в 2,6 кг. Снижались и индивидуальная плодовитость самок русского осетра [19]. Особую тревогу вызывает уменьшение плодовитости, связанное с нарушениями в половых железах, и в первую очередь, замена генеративной ткани на жировую или соединительную. Такой же процесс выявлен и у самцов. Снижению плодовитости способствуют и другие формы патологий ооцитов. В фазе протоплазматического роста – чаще всего изменения в ядре, цитоплазме, появление многоядерных ооцитов и амитозов; в фазе трофоплазматического роста – ядре, оболочках, желтке, появление уродств и тотальной резорбции ооцитов и т.д. [38]. Изменения в половых клетках, возникающие на фоне функциональных нарушений, могут и не проявляться на морфологическом уровне – это нарушения вителлогенеза, выражающиеся изменением состава и соотношения белковых и липидных компонентов, накапливаемых в ооцитах и нарушения транспорта кровью вителлогенина, входящего в состав в-липопротеидов. Они заключаются в снижении доли высокомолекулярных («тяжелых») белков в 1,5-2 раза и появлении несвойственных ооцитам осетровых 1-3 низкомолекулярных («легких») белковых компонентов, увеличении числа средномолекулярных белков, в липидном составе ооцитов – изменением соотношения фосфолипидов и триглицеридов, в крови – в снижении доли вителлогенина в общем количестве белка или в его низкой концентрации. Уменьшение воспроизводительной эффективности в этом случае проявляется в неоплодотворении икры, гибели ее в процессе эмбриогенеза, а также повышенной элиминации на ранних этапах развития и снижения резистентности молоди к экстремальным факторам внешней среды, подтверждением чему могут служить данные по уровню аномального развития личинок и молоди. Если до 1984 г. доля молоди с аномальными отклонениями состав-

ляла 0,03-0,176% (в среднем 0,14%), то в период 1986-1995 гг. существенного ухудшения физиологического состояния осетровых их количество увеличилось до 0,63-2,03% (в среднем – 0,54%) [22]. У ранневозрастных личинок она достигла 11-22% в 1989 г. и 8-12% в 1992 г. [26]. Наибольший уровень атипичности развития и разнообразия патологических отклонений у личинок осетровых наблюдался также в 1989 г. При этом заметим, что ранее аномалии у личинок на ранних стадиях развития встречались в редких случаях.

В 1988-1989 гг. зафиксировано также множество нарушений морфогенеза личинок осетра и севрюги на рыбноводных заводах, снижение жизнеспособности и массовой гибели молоди осетровых при их искусственном воспроизводстве [44]. Доля личинок с морфологическими дефектами достигала 80-100% при помещении их на выращивание в пруды. Возможно, также и образование скрытых дефектов, понижающих жизнестойкость молоди рыб и выживание их до половозрелого возраста.

Таким образом, появление нового фактора в среде обитания осетровых рыб – загрязнения Каспия токсическими веществами – существенно сказывается на их благополучии. Это ведет к снижению темпа развития и роста рыб, увеличению смертности как на ранних этапах онтогенеза, так и в более позднем периоде жизни, за счет снижения жизнестойкости при ухудшении их физиологического состояния. Наиболее опасным для популяций всех видов осетровых является снижение репродуктивного потенциала вследствие увеличения сроков вступления в репродуктивную стадию, удлинение межнерестовых периодов и снижение количества репродуктивно значимых яйцеклеток из-за морфологических и биохимических нарушений. Особенно опасна тенденция к сокращению объема генеративной ткани половых желез самок и самцов и замена ее на жировую и соединительнотканную, что ведет к стерилизации особей. Все эти изменения на данном этапе пока лишь ограничивают биопродуктивность этого семейства. Однако дальнейшее развитие этого процесса может привести к критическому состоянию, в понимании

С.А. Шиловой и М.И. Шатуновского [46], обитающих в Каспийском море популяций всех видов осетровых при превышении по-

рога устойчивости рыб к повреждающим факторам внешней среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алтуфьев Ю.В., Власенко А.Д., Поленов А.Л.* Анализ состояния НГ и гонад осетра и белуги под плотиной Волгоградской ГЭС и на зимовальных яме «Машкина коса» в зимний период // *Вопр. ихтиологии*. 1980. Вып. 2 (121).
2. *Алтуфьев Ю.В., Романов А.А., Шевелёва Н.Н.* Гистопатология поперечнополосатой мышечной ткани и печени каспийских осетровых // *Вопр. ихтиологии*. 1992. Т. 32. Вып. 5.
3. *Баранникова И.А.* Новые данные о реакции популяции осетровых на нарушение условий миграции и размножение // *Осетровое хозяйство СССР и их воспроизводство*. Тр. ЦНИОРХ. М.: Пищ. пром-сть. 1970. Т. 2.
4. *Баранникова И.А., Буковская О.С.* Особенности функции интерренальной железы осетровых разных видов при современной экологической обстановке в Каспийском бассейне // *Биологические ресурсы Каспийского моря*. Астрахань, 1992.
5. *Баранникова И.А., Буковская О.С., Дюбин В.П.* Гормональные характеристики осетра при современном состоянии экосистемы Волго-Каспийского бассейна // *Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани*. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
6. *Бутаев А.М.* Каспий: статус, нефть, уровень. Махачкала, 1999.
7. *Васильева Л.М., Попова О.В., Хорошко В.И.* Состояние загрязнения водной среды, донных отложений и гидробионтов в Волго-Каспийском районе // *Биологические ресурсы Каспийского моря и пути рационального их использования*. Астрахань, 1993.
8. *Галактионова М.Л.* Состояние общей антиокислительной активности в тканях мышц, печени и гонадах русского осетра в морской период жизни // *Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса (включая промысел)*. Астрахань, 1994.
9. *Гераскин П.П.* Видоспецифичность фракционного состава гемоглобина крови осетровых рыб и динамика его формирования в раннем онтогенезе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1978.
10. Гераскин П.П. Нарушения обмена веществ у русского осетра в современных условиях Волго-Каспия // В сб. «Осетровое хозяйство водоемов СССР». Астрахань, 1989. С. 60-62.
11. *Гераскин П.П.* Задачи и принципы мониторинга физиологического состояния каспийских осетровых в условиях антропогенного пресса // *Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса (включая промысел)*. Астрахань, 1994.
12. *Гераскин П.П., Алтуфьев Ю.В., Металлов Г.Ф., и др.* Оценка физиологического состояния и репродуктивной системы осетровых в условиях загрязнения Каспийского моря и р. Волги // *Биологические ресурсы Каспийского моря и пути рационального их использования*. Астрахань, 1994.
13. *Гераскин П.П., Алтуфьев Ю.В., Металлов Г.Ф., и др.* Мониторинг физиологического состояния осетровых в условиях загрязнения Каспия и р. Волги // *Рыбохозяйственные исследования на Каспии*. Астрахань, 1999.
14. *Гераскин П.П., Баль Н.В., Мишин Э.А.* Сравнительная характеристика фракционных составов белков сыворотки крови, мышц и ооцитов русского осетра в норме и при морфологических изменениях в мышцах и ооцитах // *Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани*. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
15. *Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Шелухин Г.К., и др.* Современное физиологическое состояние каспийских осетровых. // *Рыбоводство и рыболовство*. 2001. № 1.
16. *Гераскин П.П., Мижужева М.В., Галактионова М.Л.* Процессы перекисного окисле-



- ния липидов и антиоксидантная активность печени и мышц самок русского осетра в условиях загрязнения Северного Каспия // Экосистемы морей России в условиях антропогенного пресса (включая промысел). Астрахань, 1994.
17. Гераскин П.П., Мишин Э.А. Внутрипопуляционный полиморфизм эстераз печени и лактатдегидрогеназы сердца у волжской севрюги // Первый симпозиум по экологической биохимии рыб. Ярославль, 1987.
  18. Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1990 г. ГОИН.
  19. Журавлёва О.Л. Динамика биологических показателей нерестовой части волжской популяции русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt в условиях зарегулированного стока реки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000.
  20. Журавлёва О.Л. Характеристика линейного и весового роста производителей русского осетра р. Волга при современном уровне загрязнения среды обитания // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2005.
  21. Кузьмина О.Ю. Содержание электролитов в сыворотке крови и тканях русского осетра в норме и с расслоением мышечной ткани. // Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
  22. Лагунова В.С. Влияние современных условий на эффективность воспроизводства молоди осетровых в р. Волга // Первый конгресс ихтиологов России: Тез. докл. М.: ВНИРО, 1997.
  23. Ларцева Л.В. Микрофлора осетровых и расслоение мышц // Рыб. хоз-во. 1990. № 6.
  24. Ласкорин Б.Н., Лукьяненко В.И. Стратегия и тактика охраны водоемов и загрязнений // Вторая всесоюз. конф. по рыбохозяйственной токсикологии. СПб., 1991, Т. 2.
  25. Ласкорин Б.Н., Лукьяненко В.И. Проблема качества воды Волго-Каспийского бассейна // Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
  26. Лепилина И.Н., Шевелева Н.Н. Аномалии у личинок осетровых от естественного нереста – следствие изменений физиолого-биохимического статуса производителей // Экологическая физиология и биохимия осетровых рыб. Ярославль, 1997.
  27. Лукьяненко В.И. О нарастающем пестицидом загрязнении Волго-Каспийского бассейна и угрозе осетровому хозяйству страны // Осетровое хозяйство водоемов СССР. Астрахань, 1989. Ч. 1.
  28. Лукьяненко В.И., Дубинин В.И., Сухопарова А.Д. Влияние экстремальных условий приплотинной зоны реки на осетровых рыб. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
  29. Лукьяненко В.И., Каратаева Б.Б., Камшин И.Н. Сезонные расы волго-каспийских осетровых рыб. Рыбинск: ИБВВ АН, 1988.
  30. Металлов Г.Ф. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптивной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Астрахань, 2002.
  31. Металлов Г.Ф., Аксенов В.П. Активность цитохромоксидазы и лактатдегидрогеназы в тканях осетра (*Acipenser guldenstadti*) в морской и речной периоды жизни // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 1999. Т. 35, № 1.
  32. Металлов Г.Ф., Гераскин П.П., Шелухин Г.К., Аксенов В.П. Физиолого-биохимическая оценка состояния русского осетра в современных условиях Волго-Каспия // Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
  33. Мишин Э.А., Гераскин П.П. Темпы формирования фракционного состава гемоглобина молоди белуги в современных экологических условиях. // Формирование запасов в условиях комплексного использования водных ресурсов. Астрахань, 1986.
  34. Мумжу В.М., Рычагова Т.Л., Попова О.В., Хорошко В.И. Материалы по токсикологическому мониторингу Северного Каспия // Экологические проблемы реки Урал и пути их решения. Гурьев, 1989. Ч. 1.
  35. Наточин Ю.В., Лукьяненко В.И., Шахматова Е.И., Лаврова Е.А., Металлов Г.Ф. Двд-

- цатилетний мониторинг (70-90-е годы) физико-химических параметров сыворотки крови у русского осетра *Acipenser guldenstadti* // *Вопр. ихтиологии*. 1995. Т. 35, вып. 2.
36. *Никаноров С.И., Рябова Г.Д., Кутергина И.Г., Офицеров М.В.* Электрофоретический анализ генетической изменчивости севрюги *Acipenser stellatus* (Pallas) // *Докл. АН СССР*. 1985. Т. 284, № 1.
37. *Попова О.В., Хорошко В.И., Васильева Л.М.* Об уровне загрязненности вод Волго-Каспийского бассейна // *Биологические ресурсы Каспийского моря*. Астрахань, 1992.
38. *Романов А.А., Романов Ал.А., Беляева Е.С.* Мониторинг гистоморфологических нарушений гонадо- и гаметогенеза осетровых рыб Волго-Каспийского региона // *Экология молодежи и проблемы воспроизводства каспийских рыб*. М.: ВНИРО, 2001.
39. *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*. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
40. *Рылина О.Н., Попова О.В., Попов О.П., и др.* Эколого-токсикологический мониторинг Волго-Каспийского бассейна. // *Рыбохозяйственные исследования на Каспии*. Астрахань, 2003.
41. *Сухонарова А.Д., Дубинин В.И.* Гематологические показатели осетровых рыб с признаками расслоения мышечной ткани // *Физиолого-биохимический статус волго-каспийских осетровых в норме и при расслоении мышечной ткани*. Рыбинск: ИБВВ АН СССР, 1990.
42. *Сухонарова А.Д., Сухенко Е.М.* Материалы к гематологическим показателям осетровых рыб в морской период жизни // *Осетровое хозяйство водоемов СССР*. Астрахань, 1989.
43. *Трусов В.З.* Биологическая характеристика и пути рыбоводного использования осетровых, скапливающихся у Волгоградской плотины. // *Осетровое хозяйство в водоемах СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Т. 2.
44. *Шагаева В.Г., Никольская Н.Г., Марков К.П., и др.* Особенности эмбрионального и личиночного развития осетра в условиях ухудшения экологической обстановки в р. Волге // *Осетровое хозяйство водоемов СССР*. Астрахань, 1989.
45. *Шелухин Г.К., Металлов Г.Ф., Гераскин П.П., и др.* Показатели обмена веществ у русского осетра с различной степенью мышечной патологии в морской период жизни // *Осетровое хозяйство водоемов СССР*. Астрахань, 1989.
46. *Шилова С.А., Шатуновский М.И.* Эколого-физиологические критерии состояния популяций животных при действии повреждающих факторов // *Экология*. 2005. № 1.
47. *Geraskin P.P.* Sturgeon (*Acipenseridae*) responses to new ecological conditions in the Caspian Sea // *Intern. symp. on sturgeons*. Proc. M.: VNIRO Publishing, 1995.

## IMPACT OF CASPIAN SEA POLLUTION ON THE PHYSIOLOGICAL STATE OF STURGEONS

© 2006 P.P. Geraskin

Federal State Unitary Enterprise «Caspian Fisheries Research Institute»

Summarized data of long-term investigations into the physiological state of sturgeons during the marine and river periods of their life cycle are presented. The impact of the Caspian Sea pollution on their physiological status during the period of acute and chronic exposure to toxic contaminants is described. Changes and disturbances which occur in the morphological structure of the liver and muscular tissue, metabolic processes that provide constant internal medium and function, enzyme activity of energy metabolism are shown. Consequences of functional and morphological disturbances in sturgeons, including the impact on their reproductive potential, are discussed.