



УДК 597-1.044: 628.394:546.3/7

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОСЕТРОВЫХ РЫБ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

© 2009. Зайцев В.Ф., Мелякина Э.И., Гусейнова С.А., Крючков В.Н., Лавриненко А.В.

Астраханский государственный технический университет
Дагестанский государственный университет

В работе описываются донные отложения Каспия, их роль в накоплении тяжелых металлов и их воздействие на физиологическое состояние осетровых рыб.

There are defined the bottom sediments of the Caspian sea. Their role in heavy metals accumulation and their impact on physiological state of the sturgeon fish.

Ключевые слова: тяжелые металлы, отложения, осетровые рыбы.

Key words: heavy metals, sediments, sturgeon.

Интерес к изучению содержания в водных экосистемах тяжелых металлов вызван тем, что эти элементы имеют широкое распространение, многие из них обладают кумулятивным эффектом и играют большую роль в создании общего токсикологического фона для водных животных.

Элементарный состав донных отложений отражает биогеохимическую ситуацию конкретного субрегиона биосферы, поэтому содержание металлов в грунтах различных водоемов сильно варьирует. Как отмечал В.И. Воробьев (1979), отсутствие кларковых норм для грунтов рыбохозяйственных водоемов, норм, аналогичных величинам ПДК для воды, существенно затрудняет оценку как обеспеченности их микроэлементами, так и оценку их загрязненности.

Наше исследование имело следующие задачи:

Комплексная оценка накопления тяжелых металлов в разных средах (вода, донные осадки) и в живых организмах в течение ряда лет.

Поиск интегральных и унифицированных методов оценки влияния металлов на водные организмы.

Материал и методы.

Для исследования брались пробы донных отложений из водоемов дельты Волги с различным гидрологическим режимом: многоводные реки с быстрым течением (Волга и Бузан), малопроточные и непроточные в летний период водоемы (ильмени). Пробы грунта отбирались как из поверхностного слоя, так и из колонок, которые бурились на глубину до 1 м и более.

Анализ содержания в грунте металлов, а также их накопление в органах и тканях осетровых рыб осуществлялся методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Экстракция металлов из грунта и озоление предварительно высушенных при температуре 110°C до постоянного веса тканей осуществлялось на песочной бане концентрированной азотной кислотой.

Количественный анализ металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Hitachi» модели 180-50. Применялась трехщелевая ацетилено-пропановая горелка, газ - пропан, окислитель - воздух. Для каждого металла использовалась отдельная лампа с полым катодом. Условия определения металлов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Параметры анализа определения металлов в воде и в донных отложениях



Элемент	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Сила тока в лампе, мА	7.5	10.0	7.5	10.0	7.5	10.0	7.5	10.0
Длина волны, нм	228.8	240.7	324.8	248.3	279.5	232.0	283.3	213.8
Ширина щели, нм	1.3	0.2	1.3	0.2	0.4	0.2	1.3	1.3
Расход воздуха, л/мин	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Расход газа, л/мин	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

Оценку состояния рыб производили по степени развития в органах патологических изменений. Анализ проводили традиционными гистологическими методами (Ромейс, 1953). Материал взят от 232 рыб (белуга - 20 экз., севрюга - 109 экз., осетр - 97 экз., стерлядь - 6 экз.).

Вода рыбохозяйственных водоемов.

Осуществляемый на протяжении многих лет мониторинг за состоянием водной среды показал значительное увеличение содержания металлов в волжской воде (Бесчетнова и др., 1968; Андреев, 1989; Григорьев, Крючков, 1989; Крючков, Григорьев, 1989). За последние 15 лет увеличилось среднее содержание меди в 11,5 раза, цинка - в 9,8 раза, свинца - в 5,6 раза, кадмия - в 4,9 раза. Для меди и цинка фоновые величины в летние месяцы в 3-7 раз превышают значения ПДК (Андреев и др., 1989). В дальнейшем году уровень загрязнения воды отдельными металлами несколько снизился.

Мониторинг донных отложений.

Анализ содержания металлов в поверхностном слое грунта показал, что их концентрации в течение сезона подвержены значительным колебаниям. Эти колебания особенно ярко выражены в непроточных и малопроточных водоемах. Так, в течение вегетационного периода происходит уменьшение содержания в поверхностном слое грунта большинства элементов. Этот процесс связан с деятельностью бентосных организмов-концентраторов. В многоводных реках сезонные колебания связаны в основном с паводком.

Для оценки степени загрязненности донных отложений, существуют, в частности, два пути. Первый – это определить остаточную сорбционную

емкость донных отложений по отношению к тем или иным металлам. Эта величина позволит оценить потенциальную опасность вторичного загрязнения воды металлами при их экстракции из грунта в воду. Второй путь – это сравнить содержание металлов в донных осадках в настоящее время с тем содержанием, которое было в то время, когда загрязнение водоемов тяжёлыми металлами еще не приняло таких масштабов, которые мы наблюдаем сегодня.

Оказалось, что в поверхностных слоях грунта металлов несколько меньше, чем в более глубоких (рис. 1).

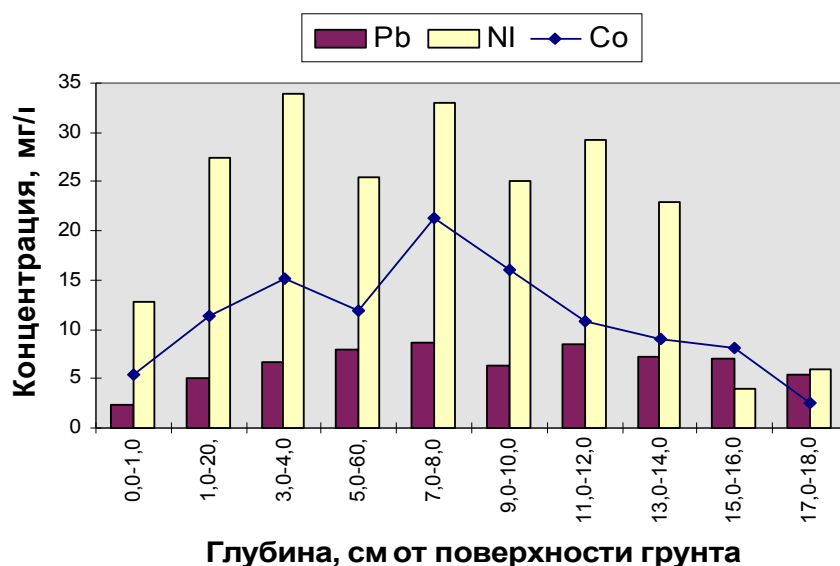


Рис. 1. Средние концентрации металлов в донных отложениях дельты Волги и Северного Каспия

Так, в слое 0,5 -1,0 см концентрация кадмия составляет 0,2-0,5 мг/кг, на глубине от 1,0 до 5-6 см его концентрация колеблется в пределах 0,3-0,7 мг/кг. Свинец в этом слое содержится в количестве 2,4-7,2 мг/кг, марганец – 151-154 мг/кг. Наибольшее содержание металлов отмечалось в толще грунта на глубине 6-8-10 см: свинца – 7,2 -10,0 мг/кг, марганца 170-457 мг/кг, никеля 33-122 мг/кг. В более глубоких слоях донных отложений, несмотря на разброс показателей, прослеживается тенденция уменьшения концентрации тяжелых металлов. По нашему мнению, обнаруженная закономерность связана с тем, что верхние слои донных осадков подвержены различному влиянию как со стороны воды, так и живых организмов, а поскольку пробы отбирались в летнее время, то данные анализа отражают лишь конкретную ситуацию, когда большое количество металлов было из грунта вовлечено в трофический круговорот. Так, водные макрофиты способны концентрировать в себе металлы в значительных количествах, причем погруженные растения в гораздо большей степени, чем произрастающие в прибрежной полосе. Роголистник, к примеру, в среднем накапливает марганец в 10 тыс. раз, никель – в 250 раз, цинк – в 100 раз, медь и кадмий – в 50-80 раз больше по сравнению с концентрацией этих металлов в воде. Дрейссена (*Dreissena polymorpha*) концентрирует в тканях своего тела свинца до 18,3 мг/кг, кадмия до 5,0 мг/кг, цинка до 170-200 мг/кг и т.д. (Крючков и др., 1989). В связи с этим объяснимо последующее увеличение концентрации металлов в слоях грунта 6-8 см. Имеющееся уменьшение концентрации в слоях от 8-10 см и глубже мы связываем с тем, что ранее загрязнение воды тяжелыми металлами не носило того характера, который мы наблюдаем в настоящее время.

Таким образом, налицо ситуация, когда в воде, в донных отложениях, в водных беспозвоночных содержание тяжелых металлов превышает то количество, ту норму, к которым рыбы были адаптированы в течение многих лет. Произошедшее по биологическим меркам чуть ли ни мгновенное повышение содержания металлов практически во всех звеньях водных экосистем не могло не оказать на рыб негативного влияния.

Физиологическое состояние осетровых видов рыб.

Наш интерес к осетровым обусловлен, во-первых, тем, что эти рыбы как объект исследования чрезвычайно интересны, имеют огромное научное и хозяйственное значение. Во-вторых, осетровые имеют длительный жизненный цикл, и на них можно проследить отдаленные последствия хронического воздействия находящихся в волжской воде токсикантов.



Большие концентрации металлов были отмечены в органах, которые характеризуются активным метаболизмом, таких, как печень, почка, селезенка (табл. 2).

Цинк относится к числу относительно широко распространенных металлов в биосфере земли. В организме рыб он уступает по уровню содержания лишь железу, а иногда и превосходит его по степени накопления в отдельных органах и тканях. Цинк является незаменимым микроэлементом, причем необходимо отметить полифункциональность этого металла. В результате исследования высокая концентрация цинка была обнаружена в туловищной почке осетровых (325,54 мг/кг); более низкие концентрации отмечаются в печени, селезенке, жабрах, кишечнике - 120,69; 112,84; 99,98 и 65,71 мг/кг соответственно. Наименьшая концентрация металла обнаружена в гонадах и мышцах - 48,34 и 37,55 мг/кг.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в органах севрюги

Орган	Элементы, мг/кг сухого вещества							
	Эссенциальные микроэлементы					Условно-эссенциальные микроэлементы	Токсичные микроэлементы	
	Fe	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Pb	Cd
кишечник	135,45 ₁	9,626	65,710	2,446	0,15 ₁	1,15	1,534	0,256
печень	809,33 ₇	37,660	120,69 ₂	2,305	2,38 ₂	3,16	2,197	0,693
почка	306,18 ₆	18,734	325,53 ₆	2,819	1,01 ₂	6,99	3,165	0,647
жабры	358,75 ₁	13,931	98,978	6,017	0,91 ₈	3,28	6,109	0,538
селезенка	1612,8 ₄	66,952	112,83 ₆	2,162	0,32 ₅	3,82	3,754	0,687
мышцы	82,057	4,733	37,546	1,973	0,08 ₁	2,37	1,420	0,277
гонады	72,812	6,684	48,378	2,858	0,20 ₆	2,16	1,632	0,269

Медь в наибольшем количестве - 66,95 мг/кг сухого вещества - обнаружена в селезенке. Это объясняется тем, что медь активно участвует в процессах кроветворения и тканевого дыхания (Войнар, 1960). Биологическая роль меди в процессах тканевого дыхания основывается на том, что металл входит в состав окислительных ферментов. Уровень концентрации меди в селезенке осетровых был в 1,8 раза выше, чем в печени, в 3,6 раза больше, чем в почках, в 4,8 раза - чем жабрах, в 6,9 раза - чем в кишечнике и в 14,1 раз больше, чем в мышцах..

Содержание свинца в органах осетровых относительно невелико. Ярко выраженной кумуляции данного металла определенным органом не наблюдается, за исключением жабр, где его концентрация составила 6,1 мг/кг, что, вероятно, связано с их респираторной функцией, обеспечивающей проникновение этого металла в организм. В связи с тем, что накопление в организме рыб свинца все-таки происходит, следует сделать вывод о возможной постоянной интоксикации рыб металлом, относящимся к группе элементов приоритетного отслеживания.

Незначительные количества кадмия постоянно присутствуют в организме. Отмечается преобладание его в печени, селезенке и почках в концентрациях 0,693; 0,687 и 0,647 мг/кг соответственно. Вероятно, кумуляция элемента идет непосредственно из воды (Алабастер, Ллойд, 1984), так как в кишечнике обнаружено его минимальное количество (0,256 мг/кг). Соединения кадмия и сам кадмий обладают значительно большей токсичностью, чем многие другие металлы.



В соответствии с рекомендациями ЮНЭП (программа ООН по окружающей среде) в объектах природной среды не должны наблюдаться ртуть, свинец, кадмий, фтор, мышьяк. Но проведенное исследование показало значительные уровни содержания свинца и кадмия в тканях осетровых.

При сравнении имеющегося содержания тяжелых металлов в органах и тканях осетровых с аналогичными данными, полученными в АГТУ более 20 лет назад (Воробьев, Зайцев, 1976) выявляется весьма настораживающее обстоятельство, что за рассматриваемый период произошло увеличение концентраций тяжелых металлов не только в воде и в донных отложениях, но и в самих рыбах. Особенно четко это прослеживается по содержанию металлов в жабрах, гонадах и мышцах. Так, содержание цинка в жабрах осетровых рыб стало больше в среднем в 1,98 раза, а в мышцах – в 5,6 раза. Марганца в жабрах обнаружено больше в 4,1 раза. Эти примеры можно продолжать. В печени подобная закономерность не отмечена.

Результаты анализа по кумуляции ТМ в органах и тканях осетровых дают основания искать последствия их возможного влияния.

Многолетние морфофункциональные исследования состояния тканей, органов и систем органов каспийских осетровых показали, что многие из них имели довольно значительные патологические изменения типа разрастания различных эпителиев, дегенеративные и патологические процессы в клетках печени, нарушение гемопоэза в селезенке и т.д.

Жабры. Впервые в Астраханской области значительная гиперплазия эпителия жабр была выявлена в 1986 году у красноперки, выловленной в ер. Берекет (8-и километровая зона вокруг Астраханского газового комплекса), затем это явление распространилось на большинство рыб, вылавливаемых в дельте р. Волги (густера, лещ, линь и др.) С 1992 года разрастания первичного и вторичного эпителия жабр были выявлены у осетровых в речной и морской периоды жизни. Была выявлена гиперплазия как респираторного, так и многослойного эпителия на разных участках филламентов вплоть до образования сплошных эпителиальных пластинок в связи со срастанием ламелл. Причем, если для костистых рыб были характерны разрастания первичного эпителия, которые превращали филламенты в эпителиальные пластинки без разграничения на ламеллы, то у осетровых чаще всего отмечены разрастания вторичного (респираторного) эпителия на длинных ламеллах, которые в таких случаях становились похожими на барабанные палочки. Обычно разрастания в виде барабанных палочек сопровождалась дискомплексацией эпителиальных клеток, появлением промежутков между ними.

С 1996 года в жабрах осетровых кроме значительной гиперплазии первичного и вторичного эпителиев появились участки филламентов, покрытых только разросшимся многослойным эпителием с полной атрофией ламелл. Причем, на участках, предшествующем атрофии и следующим за ней, ламеллы имели меньшие размеры, постоянно уменьшаясь к пустым участкам. В жабрах наблюдались различного рода сосудистые расстройства.

Основным компонентом адаптации и основным компонентом деструктивных изменений жабр является разрастание (пролиферация или гиперплазия) первичного (многослойного эпителия филламентов) и вторичного (дыхательного эпителия ламелл) эпителиев.

Гиперплазия (пролиферация или разрастание) эпителия способствует увеличению диффузного барьера между внешней средой и кровью, что приводит к снижению уровня газообмена в жабрах, но может играть и защитную роль, смягчая прямое действие токсической среды на эпителиальную и интерстициальную ткани. Защитную роль играет и гиперплазия слизистых клеток. Следует подчеркнуть, что хроническое действие антропогенного загрязнения на осетровых привело не только к беспорядочному разрастанию эпителиальной ткани, но и к деформации филламентов, к некрозу и атрофии ламелл, что в настоящее время не наблюдается у карповых рыб дельты Волги. По-видимому, некроз и атрофия ламелл взаимосвязаны с большой продолжительностью жизни осетровых в загрязненных токсикантами волжской и каспийской водах.

Почки. Адаптационной особенностью строения почек осетровых является неоднородность в структуре нефронов в пределах одной почки, которые могут отличаться по размерам



почечных телец, диаметром проксимальных и дистальных отделов, строением и высотой выстилающих эпителиев, наличием промежуточного отдела.

Дистрофические процессы, выявленные в эпителии почек, были следующими: зернистая дистрофия эпителия извитых канальцев, в отдельных из них отмечалась отслойка эпителиального пласта от базальной мембраны. Были выявлены группы почечных телец с дистрофическими изменениями разной степени тяжести: 1 – клубочки с резким растяжением петель и переполнением их кровью; 2 – увеличенные в объеме клубочки капилляров, заполнившие всю полость растянутой почечной капсулы; 3 – в полости почечной капсулы имелись эритроциты, спайки между петлями, их гиалиноз. Т.е., у осетровых в почках были найдены изменения, свидетельствующие и имеющиеся локальным гломерулонефрите, причем изменения, найденные в почках осетровых рыб более тяжелые, чем у рыб с коротким жизненным циклом (полупроходные и туводные карповые, бычки). Дистрофические процессы выявлены в эпителии почек как в речной, так и в морской периоды жизни: на всех препаратах наблюдалась картина зернистой дистрофии эпителия извитых канальцев. В эпителии почек рыб, выловленных в море, более выражены явления отека мутного набухания. Следует указать на значительную вариабельность размеров почечных телец, что, по-видимому, связано с повышением или же, напротив, со снижением функции, вплоть до атрофии определенного нефрона. При этом необходимо подчеркнуть, что основой современной адаптации почек осетровых рыб к водоемам с различной соленостью и загрязнением является структурная гетерохронность нефронов (наличие различных вариантов в величине и строении почечных телец и извитых канальцев) и возможность перестройки клеток нефрона при изменении условий обитания.

При сравнении структуры почек осетровых, выловленных в 1981 году, и морфологии органа осетровых 1997 года вылова выявлено, что в почках рыб 1981 года полностью отсутствовало многообразие форм и размеров почечных капсул и почечных канальцев, т.е., в 1981 году осетровые обитали в более благоприятных условиях.

Печень. При исследовании печени осетровых рыб, выловленных в Каспийском море и дельте Волги, выявились ее структурные и функциональные нарушения. Морфологические нарушения характеризовались симптомами жировой дистрофии гепатоцитов, участками инфильтрации вокруг сосудов и желчных протоков, очагами фиброза печеночной паренхимы, участками некроза. Все эти явления сопровождалось дисциркуляторными расстройствами: резким неравномерным расширением капилляров, стазом, мелкими кровоизлияниями вокруг стенок сосудов разной величины и формы. Кроме того, были обнаружены нарушения микроциркуляции в виде утолщения и гиалиноза стенок кровеносных сосудов.

В **пищеварительном тракте** выявлено обилие постоянно функционирующих желез желудка и всех отделов кишечника, выделяющих значительное количество ферментов. Ферментативная деятельность этих желез подтверждена специальными исследованиями. Было обнаружено разнообразие бокаловидных клеток желудка и кишечника, секретирующих не только слизь, но и, по-видимому, какие-то ферменты. Кроме того, значительные скопления гомеопозитической ткани, расположенные в собственно пластинке слизистой оболочки, подстилающей эпителий. Лимфоцитами интенсивно инфильтрована собственная пластинка слизистой оболочки и эпителиальный пласт всего кишечника осетровых. Подобная инфильтрация может быть расценена как защитно-адаптивная, предохраняющая организм рыб от проникновения вредных агентов через кишечник. Следует отметить, что адаптационные изменения кишечных ворсинок многообразны, но прежде всего они проявляются в клеточных элементах однослойного каемчатого эпителия. Гиперплазия как призматического эпителия кишечных ворсинок, так и клеток подстилающей его соединительной ткани, была обнаружена в той или иной степени у всех исследованных рыб. Кроме пролиферации, реактивность эпителиальных тканей кишечника характеризовалась также изменением межклеточных взаимодействий или изменением межклеточной интеграции. При воздействии содержащихся в воде повреждающих факторов на эпителий кишечника в нем возникает состояние дезинтеграции клеток – дискompенсация эпителия при на-



рушении контактов между эпителиоцитами. Это явление в основном наблюдалось на верхушках кишечных ворсинок.

В *мышечной ткани* осетровых рыб, выловленных в Северном Каспии и в дельте Волги были обнаружены признаки дистрофии: саркоплазма имела зернистость. Зернистость настолько плотно заполняла мышечное волокно, что исчезли поперечная исчерченность и ядра. Кроме того, наблюдалось фибриллярное расщепление – между фибриллами появились узкие щели как проявление отека.

Выводы:

Результаты многолетнего мониторинга за водной средой и данные анализа по донным осадкам свидетельствуют о имеющемся загрязнении экосистемы р. Волги изученными элементами.

Накопление металлов в органах и тканях рыб, особенно осетровых, увеличилось за последние 20 лет, а характер патологических изменений во внутренних органах свидетельствует о их негативном влиянии на организм рыб.

Обнаруженные в органах осетровых морфофункциональные изменения свидетельствуют о наличии симптомов хронического эндотоксикоза и имеют также приспособительное значение, т.к. способствуют уменьшению прямого токсического действия на ткани, т.е. наряду с патологическими, в органах и тканях осетровых происходят адаптивные процессы, способствующие выживанию рыб при существующем загрязнении водной среды.

Библиографический список

1. Алабастр Дж., Ллойд Ф. Критерии качества воды для пресноводных рыб. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 344 с.
2. Андреев В.В. Загрязнение Нижней Волги и Северного Каспия тяжелыми металлами // Экологические проблемы Волги: Тез. докл. к региональной конференции. - Саратов, 1989. - С. 142 - 143.
3. Андреев В.В., Крючков В.Н., Григорьев В.А. Накопление тяжелых металлов в водных экосистемах и их влияние на осетровых рыб // Осетровое хозяйство водоемов СССР: Краткие тез. научных докл. к предстоящему Всесоюзному совещанию (ноябрь, 1989). - Астрахань, 1989. - С. 6 - 7.
4. Бесчетнова Э.И., Самилкин Н.С., Самойлов В.В., Крупчик Г.Л. Содержание никеля, марганца, ванадия, меди и свинца в водах нижнего течения дельты Волги // Гигиена и санитария. - N 8, - 1968. - С. 105.
5. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. - М., 1960. - С. 95-136.
6. Воробьев В.И. Микроэлементы и их применение в рыбоводстве. - М.: Пищевая промышленность, 1979. - 182 с.
7. Воробьев В.И., Зайцев В.Ф. Микроэлементы и физиологическая оценка производителей осетровых рыб Волги // Биотехника товарного рыбоводства. - М., 1976, вып. 16, - С. 186 -193.
8. Григорьев В.А., Крючков В.Н. Динамика содержания ртути в водоемах в районе Астраханского газового комплекса // Проблемы изучения, охраны и рационального использования природных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы. - Астрахань, 1989. - С. 30 -31.
9. Крючков В.Н., Григорьев В.А. Содержание тяжелых металлов в воде водоемов Волго-Ахтубинской поймы // Проблемы изучения, охраны и рационального использования природных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы. - Астрахань, 1989. - С. 34 -35.
10. Крючков В.Н., Андреев В.В., Григорьев В.А. Мониторинг загрязнения дельты Волги тяжелыми металлами// Экологические проблемы Волги: Тез. докл. к региональной конф.- Саратов, 1989.- С. 208-210.
11. Ромейс Б. Микроскопическая техника. - М.: Иностранная литература, 1953. - 720 с.