

УДК 574.64

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФАКТОРОВ ТОКСИКОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ РЫБ
В ВОДОХРАНИЛИЩАХ РУСЛОВОГО ТИПА
(на примере Волховского водохранилища)**

*О.А. Кузнецова, Н.М. Аршаница, В.З. Латыпова,
Ф.М. Шакирова, Н.Ю. Степанова*

Аннотация

В статье представлены данные о формировании наиболее опасных эколого-токсикологических условий для рыб в приплотинной зоне водохранилищ руслового типа. Предполагается, что основной вклад в процесс формирования токсикологического режима вносят гидрологические особенности водоема, таксономический состав рыб и тип донных наносов.

Ключевые слова: водохранилища руслового типа, патологоморфологическое и патологоанатомическое состояние рыб, факторы формирования токсикологического режима.

Введение

Водоохранилища являются одним из главных элементов водохозяйственного комплекса и представляют собой новые техногенные ландшафтные образования, появившиеся на месте нарушенных природных ландшафтов. При этом нарушено оптимальное природнообусловленное функционирование экосистем на водохранилищах, что неизбежно влечет за собой деградацию водных и биологических ресурсов. Чрезвычайно актуальным является включение рыб как обязательного объекта исследований в программу гидробиологической оценки качества вод водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение, поскольку на всех этапах своего развития они аккумулируют в себе изменения в среде обитания [1–3]. Существует множество видов антропогенного воздействия на рыб. Так, возросло влияние высокотоксичных и долго сохраняющихся в водной экосистеме тяжелых металлов, воздействие которых на ихтиофауну многообразно и часто губительно.

Данная работа посвящена биогеохимическому исследованию факторов формирования токсикогенной среды обитания рыб в водохранилище руслового типа. Объектом экспериментального исследования явилось антропогенно нагруженное Волховское водохранилище руслового типа, образованное в результате зарегулирования плотиной р. Волхов [4].

Методика исследования

Выбор станций отбора проб воды, донных отложений и отлова рыб производили с учетом размещения источников загрязнения тяжелыми металлами и гидрологических особенностей водоемов, ответственных за перенос, распределение и вынос загрязняющих веществ. Для аналитических исследований выбраны виды рыб различных экологических групп (лещ, плотва, карась, сеголетки сига), преобладающие в ихтиофауне изучаемого объекта. Практически все анализируемые рыбы относятся к бентофагам и длинноцикловым хищникам, способным кумулировать в организме значительный объем загрязняющих веществ, вызывающих токсикозы [5].

Исследование включало изучение отловленных экземпляров рыб с использованием патологоморфологического экспресс-метода [5], учитывающего визуальные проявления патологического процесса при токсикозе и болезнях иной этиологии и предусматривающего наружный осмотр с последующим их вскрытием. Оценку патологоанатомического состояния рыб проводили по пятибалльной системе в соответствии с методикой [6, 7]:

- 1 – не выявлено визуальных патологоанатомических изменений;
- 2 – выявлены легкие повреждения, не угрожающие рыбам гибелью;
- 3 – выявлены повреждения средней тяжести, проявляющиеся внешне и при вскрытии;
- 4 – выявлены опасные повреждения, имеющие, как правило, необратимый характер и угрожающие жизни рыб, особенно при действии стресс-факторов и в период зимовки;
- 5 – выявлены признаки предсмертного состояния: глубокие и необратимые повреждения жизненно важных органов, атональное или коматозное состояние, нарушение координации движений и гидростатического равновесия, конвульсии, истощение, общая анемия и прочее.

Биотестирование проб воды и водных вытяжек из донных отложений проводили на низших ракообразных – дафниях (*Daphnia magna* Straus) [8, 9].

Химико-аналитические исследования проб воды, донных отложений и образцов мышечной ткани рыб выполнены в испытательной лаборатории продуктов питания и объектов окружающей среды «АНАЛЭКТ» (№ РООС RU.0001.21.МН.38) Института токсикологии Минздрава Российской Федерации (Санкт-Петербург), лаборатории экологической токсикологии ГосНИОРХ (Санкт-Петербург) и лаборатории экологического контроля Казанского государственного университета (РОСС RU.0001/51098). Количественный анализ образцов на содержание Cu, Mn, Fe и Zn производили с использованием метода атомно-абсорбционной спектрофотометрии; на содержание Cd и Pb – метода инверсионной вольтамперометрии (ИВА) на ртутно-пленочном электроде. Определение Hg производили атомно-абсорбционным методом «холодного пара». В работе использовали аттестованные растворы стандартных образцов (ГСО, ГСОРМ, АРЗ-ПП-Рыб-4, АРЗ-ПП-Мяс-4).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программы Statistica 6.0.

Табл. 1

Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (водные вытяжки) Волховского водохранилища

№ станции*	Объект биотестирования	Уровень гибели тест-объектов, %	LT ₅₀ , сут	Тест на хроническую токсичность
1	Вода	50	7	+
	Донные отложения	70	6	+
2	Вода	30	> 20	+
	Донные отложения	40	> 20	+
3	Вода	30	> 20	+
	Донные отложения	30	> 20	+

* 1 – верхний бьеф водохранилища, 500 м от плотины, водозабор рыбоводного завода и г. Волхов; 2 – середина и 3 – верхняя часть водохранилища.

Табл. 2

Результаты патологоанатомического исследования рыб, отобранных в Волховском водохранилище

№ станции*	Виды рыб	Количество пораженных рыб, %	Характеристика рыб по степени поражения токсикозом	
			Степень выраженности токсикоза в баллах	Количество пораженных в разной степени рыб, экз.
1	Лещ	100	3.0	12
			4.0	8
	Плотва	100	3.0	14
			4.0	6
	Карась	100	3.5	2
			4.0	1
	Сом	100	3.0	1
			4.0	1
	Мальки леща, плотвы	100	2.0	30
			3.0	35
3.5			12	
4.0			13	
2	Лещ	100	3.0	18
			3.5	2
	Судак	100	3.0	5
			3.0	20
	Мальки леща, плотвы	100	2.0	16
			3.0	30
4.0	20			
3	Лещ	100	2.0	5
			3.0	15
	Плотва	100	2.0	7
			3.0	13
Судак	100	3.0	5	

* См. примечание к табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Токсикологическая ситуация в водоемах определяется в первую очередь накоплением металлов в депонирующих средах (донных отложениях, гидробионтах) [10].

Вода и донные отложения. Результаты биотестирования проб воды и водных вытяжек из донных отложений не обнаружили острого токсического эффекта, но в условиях хронического эксперимента выявлено повышение уровня токсичности по мере приближения к верхнему бьефу водохранилища. Одновременно повышается содержание тяжелых металлов в пробах воды относительно ПДКр/х (предельно допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения) и в пробах донных отложений относительно предельно допустимых уровней токсичности [11]. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты биотестирования проб воды и водных вытяжек из донных отложений для 3-х из 13 станций наблюдения на Волховском водохранилище.

Ихтиофауна. В результате патологоанатомического и патоморфологического исследований рыб обнаружено, что на всех исследованных станциях они поражены токсикозом различной степени тяжести (табл. 2). Однако в тканях всех исследованных рыб, отловленных непосредственно выше плотины Волховской ГЭС (ст. 1), выявлены такие патологические изменения структуры внутренних органов (дискомплексация лепесточков, отеки, оголение капилляров на отдельных участках в жабрах, истончение сердечных волокон, глыбчатый распад сердечных мышц, отечность крупных кровеносных сосудов и протоков; гиперфункция бокаловидных клеток эпителия в кишечнике; отсутствие жировых включений в гепатоцитах печени, мелкозернистость протоплазмы, лизис ядер; малокровность селезенки и др.), которые свидетельствуют о глубоких нарушениях их функциональной активности. Следовательно, по степени опасности описанных изменений их следует отнести к тяжелым повреждениям (4 балла).

Экспериментально показано, что именно для рыб, отловленных непосредственно выше плотины Волховской ГЭС, с патологическими изменениями структуры внутренних органов характерно повышенное содержание металлов в мышечной ткани. В качестве примера в табл. 3 приведены данные для 3-х из 13 станций наблюдения на Волховском водохранилище.

Из числа наиболее опасных металлов (Pb, Hg, Cd), нормированных [12] в мышечной ткани рыб, лишь для Pb обнаружено почти двукратное превышение значения допустимой остаточной концентрации в мышечной ткани карасей, отловленных в верхнем бьефе водохранилища.

Содержание металлов в мышечной ткани рыб Волховского рыбоводного завода, водоснабжение которого осуществляется из верхнего бьефа водохранилища, было ниже, чем у свободноживущих рыб верхнего бьефа. Это может быть связано с отсутствием контакта рыб с загрязненными донными отложениями и использованием доброкачественного пищевого субстрата.

Обнаруженная тенденция к большей выраженности патологических изменений структуры внутренних органов рыб при большем содержании металлов в мышечной ткани согласуется с найденной зависимостью между содержанием (C_i , мг/кг) хрома и меди в мышцах и уровнем патологоанатомических изменений

Табл. 3

Содержание металлов в мышечной ткани рыб, отловленных в Волховском водохранилище

Металл (ДОК*, мг/кг)	Вид рыбы	Номер станции**		
		1	2	3
Кадмий (0.1)	Лещ	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Плотва	< 0.01	< 0.01	0.05
	Карась	< 0.01	< 0.01	
Хром	Лещ	1.40	0.80	0.81
	Плотва	0.90	0.28	0.21
	Карась	0.48	–	–
Медь	Лещ	0.47	0.11	0.12
	Плотва	0.42	0.3	0.29
	Карась	0.93	-	
Железо	Лещ	26.0	20.0	18.0
	Плотва	22.0	19.0	14.0
	Карась	29.0	–	–
Свинец (1.0)	Лещ	1.01	0.85	0.61
	Плотва	0.23	0.30	0.17
	Карась	1.92	–	–
Цинк	Лещ	7.80	5.1	6.2
	Плотва	6.10	1.65	1.9
	Карась	9.40	–	–
Алюминий	Лещ	3.00	3.1	2.1
	Плотва	10.0	9.2	3.2
	Карась	7.00	–	–
Ртуть (0.5)	Лещ	0.15	0.14	0.09
	Плотва	0.14	0.2	0.06
	Карась	0.12	–	–

* ДОК – допустимая остаточная концентрация металла в мышцах рыб.

** См. примечание к табл. 1.

в рыбе (Y , в баллах), что может быть использовано для прогностических оценок применительно к состоянию ихтиофауны в данном водохранилище:

$$Y = 2.4 + 1.1C_{Cr} \quad (R = 0.99, R^2 = 0.98, p < 0.027)$$

$$Y = 2.5 - 26.4C_{Cu}^5 + 23.1 C_{Cr}^4 \quad (R = 0.98, R^2 = 0.97, p < 0.008)$$

Заключение

Таким образом, проведенные на Волховском водохранилище биогеохимические исследования показали, что акватория верхнего бьефа, несмотря на частоту водообмена, характеризуется повышенным уровнем загрязнения воды и донных отложений тяжелыми металлами, а рыбы тотально поражены токсикозом в тяжелой форме. Многолетние исследования, проведенные на Иваньковском водохранилище и некоторых других водных объектах [13, 14], подтверждают общность этого заключения. Нами показано, что самое высокое содержание тяжелых металлов наблюдается в донных отложениях приплотинного створа. В то же время в приплотинном створе при самом высоком содержании Си в донных отложениях наблюдалось самое низкое ее накопление в донных

биоценозах. Последнее может быть связано прежде всего с сорбционными свойствами донных наносов [15]; нельзя исключить и влияние угнетенного физиологического состояния особей, составляющих биоценоз. Можно предположить, что наибольший вклад в формирование токсикологического режима водохранилищ руслового типа вносят гидрологические особенности водоема. По-видимому, тип водообмена и стоковое (русловое) течение водохранилища оказывают решающее влияние на формирование его токсикологического режима, особенностью которого является создание в водоеме акваторий с различным уровнем загрязнения. Не меньшую роль при этом играет, по-видимому, таксономический состав исследуемых рыб и тип донных наносов.

Summary

O.A. Kouznetsova, N.M. Arshanitsa, V.Z. Latypova, F.M. Shakirova, N.Yu. Stepanova. Biochemical Research of Toxicological Danger Factors for Fish in Water Reservoir (on Example of Volchov Water Reservoir).

This report presents data concerning characterization of the most harmful ecological and toxicological conditions for fish in channel type water reservoir. It was proposed that hydrological characteristics of water body together with fish taxonomic composition and type of sediments make the main contribution to toxicological regime formation.

Key words: channel type water reservoirs, pathologico-morphological and pathologico-anatomic condition of fish, toxicological regime formation factors.

Литература

1. *Абакумов В.А., Суценыя Л.М.* Гидробиологический мониторинг пресных вод и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. Междунар. симпоз. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 41–51.
2. *Аришаница Н.М.* Материалы ихтиотоксикологического исследования в бассейне Ладожского озера // ГосНИОРХ: Сб. тр. — Л., 1988. — Вып. 285. — С. 24–37.
3. *Латыпова В.З., Говоркова Л.К., Степанова Н.Ю., Анохина О.К., Яковлева О.Г.* Опасность загрязнения промысловых рыб Куйбышевского водохранилища тяжелыми металлами // Безопасность жизнедеятельности. — 2004. — № 2. — С. 45–51.
4. *Аришаница Н.М.* Токсикологическая характеристика сбросных теплых вод электростанций // Современные проблемы водной токсикологии: Тез. докл. — Борок, 2002. — С. 7–8.
5. *Аришаница Н.М., Лесников Л.А.* Патологоморфологический анализ состояния рыб в полевых экспериментальных условиях // Методы ихтиотоксикологических исследований. — Л., 1987. — С. 7–9.
6. *Аришаница Н.М.* Практика патологоанатомического метода исследования в водной токсикологии // Симпозиум по водной токсикологии: Тез. докл. — Л., 1969. — С. 38–40.
7. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. — М.: Пищ. пром-ть, 1966. — 376 с.
8. Методические указания по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: Изд-во ВНИРО, 1998. — 145 с.
9. *Deckere E., Cooman W., Florus M., Devroede-Vander Linder M.P.* Characterizing the sediments of Flemish Watercourses: a Manual produced by TRIAD. — Brussel: AMINAL-Department Water, 2000. — 110 p.

10. *Тепляков А.В., Кубашев И.Г., Соколов В.В., Игнатъева Л.Н., Шмакова А.Г.* Токсикологическая загрязненность и паразитофауна водоемов интенсивного рыбного промысла Удмуртской Республики. – Ижевск: ИжГТУ, 2002. – 59 с.
11. *Латыпова В.З., Селивановская С.Ю., Степанова Н.Ю., Винокурова Р.И.* Региональное нормирование антропогенных нагрузок на природные среды. – Казань: Фэн, 2002. – 372 с.
12. СаиПиН 2.3.2.1078.01 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. – М., 2001.
13. *Кашулин Н.А., Решетников Ю.С.* Накопление и распределение никеля, меди и цинка в органах и тканях рыб в субарктических водоемах, загрязняемых выбросами медно-никелевого комбината // *Вопр. ихтиологии.* – 1995. – № 6. – С 663–675.
14. *Кадукин А.И., Грибовская И.Ф., Остапенко Л.А., Рубцова О.В., Вишневская Г.Н.* Некоторые закономерности накопления тяжелых металлов в донных отложениях // *Тез. докл. первой всесоюзн. конф. по рыбохоз. токсикологии (Юрмала, декабрь, 1988).* – Рига, 1988. – С. 166–167.
15. *Латыпова В.З., Селивановская С.Ю., Степанова Н.Ю., Минакова Е.А.* Развитие биогеохимических подходов к экологическому нормированию химической нагрузки на природные среды // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки.* – 2005. – Т. 147, № 1. – С. 159–166.

Поступила в редакцию
07.04.08

Кузнецова Ольга Александровна – аспирант кафедры прикладной экологии Казанского государственного университета.

Аршаница Николай Михайлович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства, г. Санкт-Петербург.

Латыпова Венера Зиннатовна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии Казанского государственного университета.
E-mail: ryvenera@yandex.ru

Шакирова Фирдаус Мубаракновна – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе Татарского отделения Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства, г. Казань.

Степанова Надежда Юльевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной экологии Казанского государственного университета.
E-mail: step@mi.ru