

УДК 556.531+597.2/.5(571.621)

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕК ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ И СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖАБРАХ ГОЛЬЯНА (*PHOXINUS LAGOWSKII*)

В.А. Зубарев, В.Н. Бурик

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: zubarev_1986@mail.ru, vburik2007@rambler.ru

*В статье представлены результаты гидрохимического анализа некоторых малых рек на территории Еврейской автономной области. Результаты проведенных исследований показали, что накопление тяжелых металлов (Fe, Zn, Pb) в жабрах гольяна Лаговского (*Phoxinus Lagowskii*) закономерно происходит в нижних течениях малых рек исследуемого района, что напрямую связано с ухудшением гидрохимических показателей малых рек, подверженных влиянию осушительной мелиорации.*

Ключевые слова: малые реки, гидрохимический анализ, тяжелые металлы, гольян *Phoxinus Lagowskii*.

Введение

Тяжелые металлы (ТМ) являются компонентом минерального состава поверхностных вод и донных отложений. С отмиранием растений и сезонными изменениями химии вод связано перераспределение металлов между водой и донными отложениями. Многие токсические вещества могут длительно сохраняться в воде, кумулироваться в донных отложениях и гидробионтах, мигрировать по пищевой цепи, накапливаясь в возрастающем количестве от низшего к высшему звену.

В связи с этим изучение содержания микроэлементов в органах и тканях рыб не только способствует выяснению физиологической роли этих веществ в организме рыб, но и может служить одним из критериев качества производителей икры и молоди [1]. Н.В. Брень и В.Г. Домашлинец (1998) указывают, что высокий уровень загрязнения среды тяжелыми металлами приводит к снижению видового состава гидробионтов [2].

Среди индикаторов уровня загрязнения поверхностных вод рыбы являются самыми приемлемыми маркерами для представления о характере возможного антропогенного влияния, о тяжелых металлах и иных микроэлементах, присутствующих в воде [5]. Для выявления влияния осушения на гидробионтов, обитающих в притоках среднего течения р. Амур, нами был выбран гольян Лаговского (*Phoxinus Lagowskii* (Dibouwski, 1869)), данный вид наиболее часто встречается в малых ре-

ках Среднеамурской низменности [4]. Это мелкая стайная рыба длиной 6–20 см, распространённая в бассейне р. Амур, верховьях Лены, реках восточного Сихотэ-Алиня, Кореи и Северного Китая. По составу и способу питания гольян Лаговского является нектобентическим полифагом, основу питания составляют личинки хирономид и другие водные насекомые. В условиях активного природопользования вид удовлетворительно приспособляется к антропогенной среде [3].

Материалы и методы, район исследования

Материалом исследования послужили отобранные в октябре 2018 г. поверхностные воды ряда водотоков бассейна среднего Амура (рр. Грязнушка, Солонечная, Ушумун, Вертопрашиха) и выборки обитающих в них рыб (сем. Карповые, гольян Лаговского (*Phoxinus lagowskii*)). Для видового описания рыб использовались определитель и каталоги круглоротых и рыб России и бассейна р. Амур [3, 4].

Все исследованные водотоки являются малыми реками в бассейне среднего Амура и имеют равнинный характер течения.

Река Ушумун (табл. 1) берет свое начало из болотного массива. Ее длина составляет 45 км, площадь водосбора – 260 км². Заболоченность бассейна реки равна 71%, в том числе площадь озер – менее 2%, редким лесом покрыто около 29% площади. Русло реки обладает умеренной гидрографической извилистостью (коэффициент

извилистости 1,02–1,03). В бассейне этой реки объекты хозяйственной деятельности полностью отсутствуют; гидрологический, гидрогеологический и гидрохимический режимы ее находятся в естественном состоянии.

Река Грязнушка берет свое начало с южных склонов хребта Чурки, длина составляет 32 км, площадь водосбора – 191 км². Заболоченность бассейна реки равна 80%, залесенность – 20%. Речная сеть довольно простая, значительная часть притоков представляет собой мелиоративные каналы, на большом протяжении плохо расчищенные, сильно заросшие, местами замусоренные. Русло извилистое с заболоченными берегами, ширина его не превышает 5 м, распределение глубин от 0,3 до 0,9 м. На отдельных участках река имеет довольно крутые берега. В верхнем течении протекает через мелколиственный лес, река сильно затенена. В среднем и нижнем течении дренирует заболоченные сельскохозяйственные угодья. Отчетливо выражена двусторонняя кочковатая пойма. Местами четко выражены террасы. Дно песчаное, местами гравийное и глинистое. Бассейн р. Грязнушки занят на 3200 га сельскохозяйственными угодьями, в основном лугами, пастбищами и улучшенными сенокосами, имеющими дерново-подзолистый тип почв, разнотравно-луговой и болотной растительностью. В нижнем течении реки происходит снижение скорости течения воды до 0,2 м/с, что приводит к небольшому увеличению температуры воды и снижению концентраций растворенного кислорода. Влияние осушения на данной реке проявляется в увеличении концентрации биогенных элементов и тяжелых металлов по сравнению с верхним течением.

Река Вертопрашиха имеет площадь водосбора 281 км², длину 42 км, берет свое начало, так же как и р. Солонечная, из юго-западных склонов хребта Чурки, впадает в р. Амур. Залесенность ее бассейна составляет около 20%, заболоченность – 80%. Течение здесь хорошо выражено, местность вокруг заболочена, по берегам встречаются кустарники. Донные отложения почти на всем протяжении представлены песчаными и глинистыми илами. В нижнем течении реки преобладают сельскохозяйственные угодья, разнотравно-злаковые луга и заболоченные земли. Нижнее течение р. Вертопрашихи подвержено осушительной мелиорации, что проявляется в увеличении концентраций тяжелых металлов и биогенных элементов.

Исследования содержания тяжелых металлов в жабрах рыб проводилось методом мокрого озоления с использованием микроволновой си-

стемы «Mars-6». Эффективность микроволнового разложения обусловлена сочетанием возможности кислотного разложения с СВЧ-воздействием при высоких температуре и давлении. Выбраны следующие параметры микроволнового разложения: 1) температура 140 °С; 2) давление 300 psi; 3) мощность 1989 Вт; 4) время разложения 15 мин; 5) время удерживания 8 мин. Реагенты (на 0,5 г пробы), используемые в анализе: HNO₃ – 10 м. Общее количество образцов – 30 шт.

Тяжелые металлы в воде и образцах жабер рыб определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) на приборе «ThermoElectron SOLAAR 6M» (РД 52.18.286-9, 1991).

Компьютерное управление процессом измерения и обработка информации производились в трехкратной повторяемости методом градировочного графика с автоматическим расчетом доверительного интервала.

Результаты и обсуждение

Гидрохимическая и гидрологическая составляющие состояния природных вод являются одними из основных и первостепенно значимых в сложном механизме постоянно меняющихся внешних условий на водосборе и протекающих внутриводоемных процессов. В соответствии с целью работы и поставленными задачами среди гидрохимических показателей для оценки были исследованы наиболее приоритетные параметры состояния водных экосистем, информативно отражающие ход и интенсивность изучаемого процесса, динамика которых проявляется при развитии процесса наиболее значительно.

В результате исследований предварительно были проанализированы показатели содержания тяжелых металлов в поверхностных водах исследуемых водотоков (табл.).

По химическому составу рассматриваемые воды следует отнести к гидрокарбонатному классу, группе кальция [8]. По щелочно-кислотным условиям воды являются слабокислыми, нейтральными. Среднее значение показателя рН воды малых рек выше района проведения осушительной мелиорации составляет 6,48 ед. рН. В районах ниже проведения осушительной мелиорации рН повышался до 7,5. Таким образом, реакция вод изменялась от слабокислой до слабощелочной, что могло повлиять на процессы миграции ТМ в водной среде. Концентрация растворенного в воде кислорода в исследуемых реках соответствует аэробным условиям. Величины удельной электропроводности, служащие приблизительным показателем суммарной концентрации электролитов,

Показатели	ПДК	Название водотоков							
		Вертопрашиха		Грязнушка		Солонечная		Ушумун	
		в.т.	н.т.	в.т.	н.т.	в.т.	н.т.	в.т.	н.т.
Гидрохимические показатели									
t, °С		16,6	18,3	18,2	19,5	16,1	20,5	17	17,4
pH, ед		6,1	6,4	6,1	7,1	6	7,5	6,3	6,2
O ₂ , мг/дм ³	≥6	12,6	11,15	11,4	8,6	11,7	6,2	13	13
Тяжелые металлы (растворенные формы)									
Fe, мг/дм ³	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,6	0,2	0,2
Mn, мг/дм ³	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Zn, мг/дм ³	1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Cu, мг/дм ³	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Ni, мг/дм ³	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb, мг/дм ³	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Примечание: в.т. – верхнее течение, н.т. – нижнее течение

главным образом неорганических, довольно близки в рассматриваемых водотоках. Это класс вод, к которому относится большинство природных вод суши. Пониженные концентрации O₂ в воде нижнего участка р. Солонечной можно оценить как неблагоприятный факт для состояния водотоков, поскольку в условиях дефицита O₂ происходит смена окислительных условий на восстановительные.

Кроме того, на процессы транзита-аккумуляции ТМ может оказать влияние уменьшение скорости течения воды в водотоках в районах проведения мелиорационных работ примерно в 2 раза по сравнению с фоновыми точками [6]. Изменение морфометрических характеристик русел в результате строительства осушительных систем способствует снижению скоростей течения воды на реках-водоприемниках сбросных вод. Наименьшие скорости течения прослеживаются в нижнем течении реки Солонечной – 0,1 м/с. По литературным данным [11], а также собственным полевым наблюдениям, снижение скорости течения реки до 0,1 м/с и увеличение поступления биогенных элементов и органических соединений в данных водотоках стимулировало зарастание русла, что и могло привести к изменению условий функциони-

рования всей экосистемы данных рек.

Таким образом, химический состав дренажных вод, сбрасываемых в реки с осушаемого массива с помощью коллекторно-дренажной системы, изменяет состав поверхностных вод малых рек. Сбросные воды отличаются плохими физико-химическими показателями качества (обладают ржавым цветом и болотным запахом), повышенным водородным показателем (до 8,1). Происходит замена естественного химического состава вод другим, нехарактерным для данного водотока, что может привести к изменению процессов транзита-аккумуляции ТМ из донных отложений [7].

Во всех исследуемых водотоках фоновые концентрации (в воде верхнего течения) значительно отличаются друг от друга, причем содержание природных поллютантов на несколько порядков выше, чем природно-антропогенных. Наибольшие концентрации Fe (2,6 мг/дм³), Mn (0,6 мг/дм³), Cu (0,1 мг/дм³), Pb (0,1 мг/дм³), Zn (0,1 мг/дм³) обнаружены в основном в р. Солонечной.

Результаты исследований содержания тяжелых металлов в жабрах голяна Лаговского показали, что под влиянием осушительной мелиорации (нижние течения рек) происходит увеличение

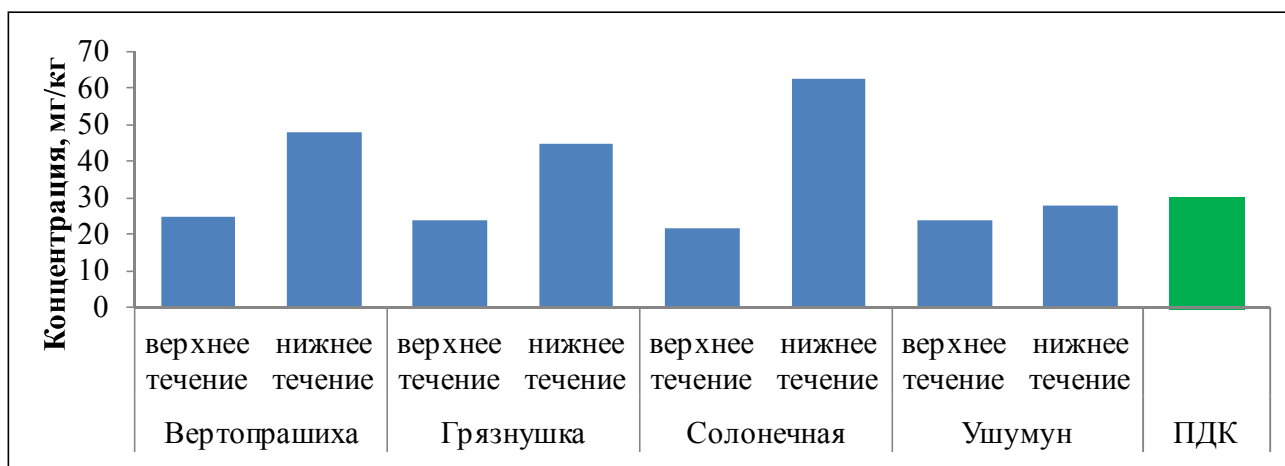


Рис. 1. Концентрации железа в жабрах рыб

Fig. 1. Concentration of iron in the gills of fish

концентраций всех тяжелых металлов, в особенности железа (1,5 ПДК) и свинца (2,5–3 ПДК). По содержанию тяжелых металлов в жабрах рыб наибольшее влияние осушения проявляется в водотоках с большей степенью преобразованности водосборного бассейна в результате антропогенного воздействия.

Содержание железа в жабрах голяна Лаговского в верхних течениях рек варьирует в пределах 21–25 мг/кг (рис. 1). В нижних течениях рек концентрации Fe – 42–62 мг/кг, что превышает значения ПДК в 1,2–2 раза. Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод о негативном влиянии осушения, приводящему к избыточному поступлению железа в организм голяна, и, как следствие, депонированию этого микроэлемента в тканях (гемосидерозу).

Среднее содержание марганца в жабрах рыб составляет 11,5 мг/кг. Но наблюдаются значительные колебания концентрации металла в нижних течениях рек – 18–31 мг/кг (рис. 2).

Марганец относится к группе микроэлементов, способных индуцировать мутации различных типов. В связи с этим при загрязнении водоемов этим металлом возникает опасность появления целого ряда заболеваний у рыб: атаксии, депигментации, асфиксии и др.

Содержание цинка в жабрах голяна колеблется в пределах 6–7 мг/кг (рис. 3). Под влиянием осушительной мелиорации в нижних течениях рек происходит увеличение концентраций цинка до 10–28 мг/кг.

Оказывая токсическое воздействие на жабры рыб, цинк снижает потребление кислорода и

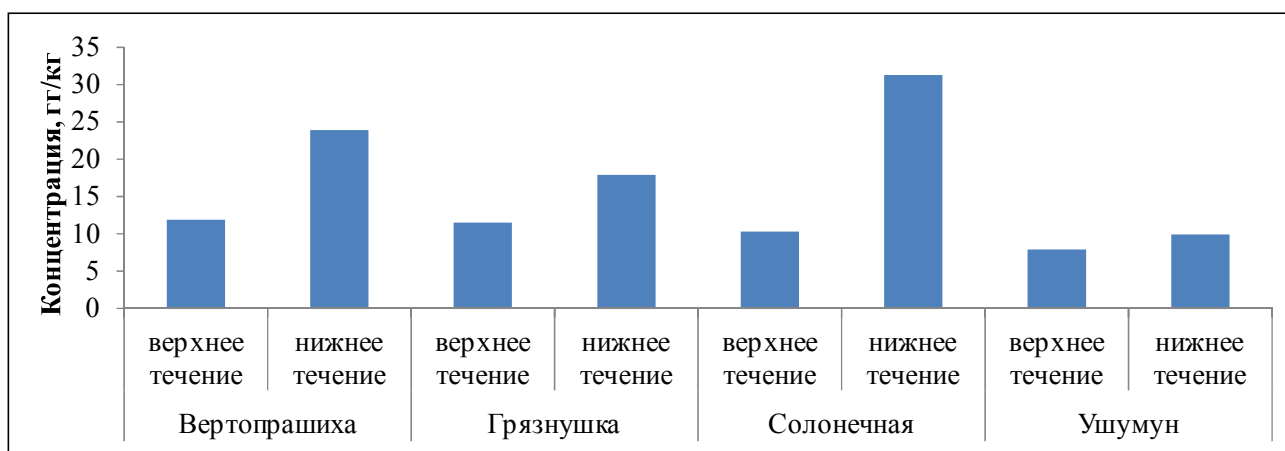


Рис. 2. Концентрации марганца в жабрах рыб

Fig. 2. Concentration of manganese in the gills of fish

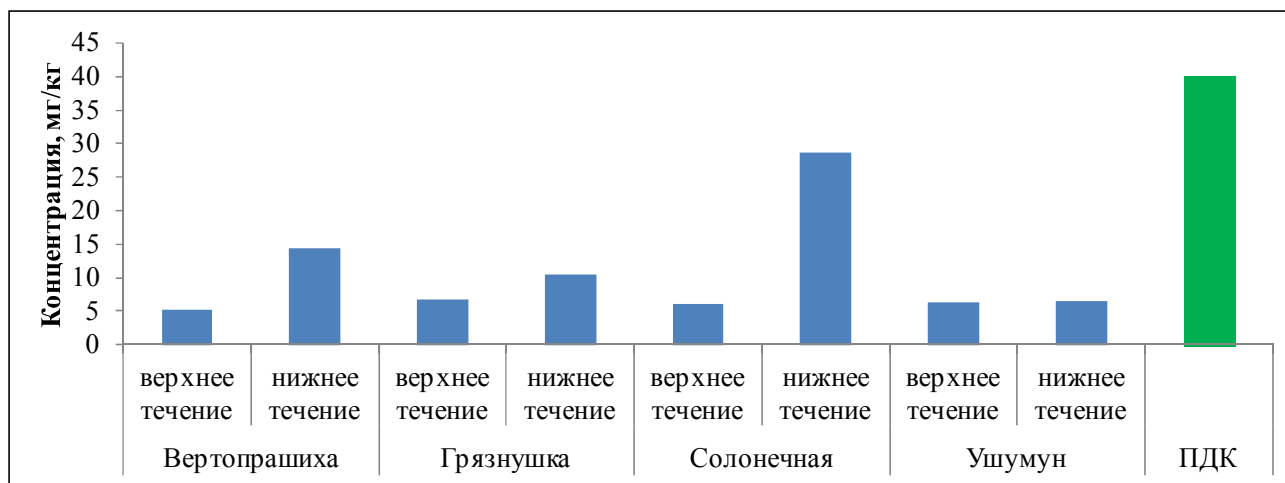


Рис. 3. Концентрации цинка в жабрах рыб

Fig. 3 Concentration of zinc in the gills of fish

вызывает дыхательные спазмы, ухудшает респирацию и, как следствие, порождает асфиксию, что особенно опасно для младших возрастных групп. В результате интоксикации цинком также может происходить нарушение функции почечной ткани и пищеварительных ферментов, снижаются темпы роста, нарушаются репродуктивные и поведенческие функции рыб.

Среднее содержание меди в жабрах гольяна Лаговского в верхних течениях рек колеблется в пределах 0–0,05, нижних течениях – 1,5–4,2 мг/кг, что не превышает значения ПДК, составляющего 10 мг/кг.

Поступление данного металла в избыточных количествах способствует усиленному по-

глощению кислорода, увеличению рН крови и потреблению энергии у рыб, в то время как интенсивность питания снижается. Накопление меди в тканях рыб (жабрах) с возрастом приводит к усилению ее токсического воздействия [9].

Накопления свинца в жабрах гольяна Лаговского в верхних течениях рек не обнаружено. В нижних течениях рек под влиянием осушительной мелиорации происходит увеличение концентраций Pb – 0,7–3,3 мг/кг в жабрах гольяна, что превышает ПДК, составляющее 1,0 мг/кг (рис. 5).

Основным патологическим процессом при отравлении свинцом является нарушение обмена гемоглобина, так как этот элемент угнетает внедрение железа в порфириновое кольцо и эритро-

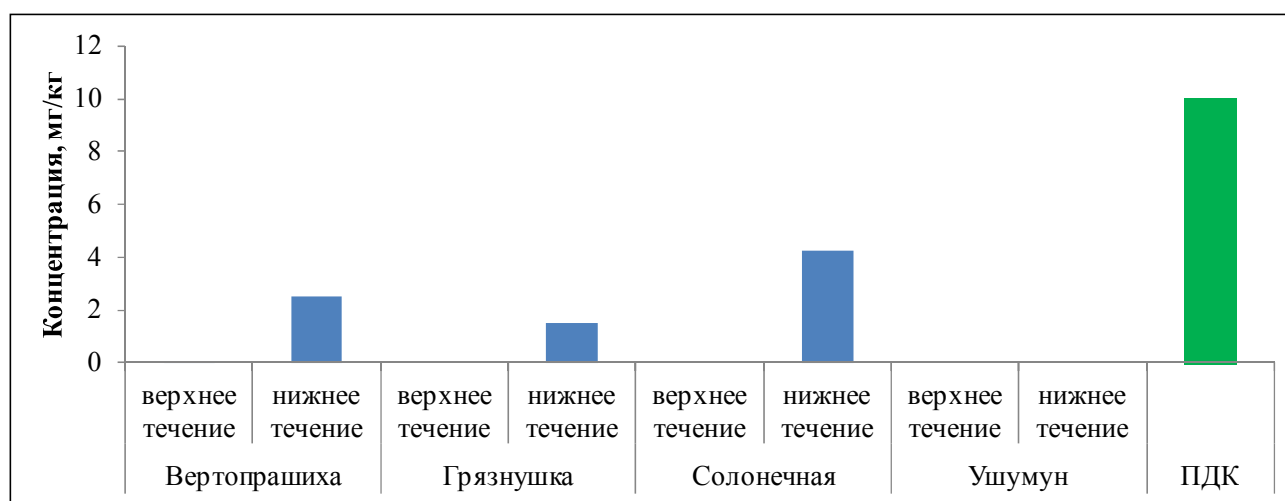


Рис. 4. Концентрации меди в жабрах рыб

Fig. 4. Concentration of copper in the gills of fish

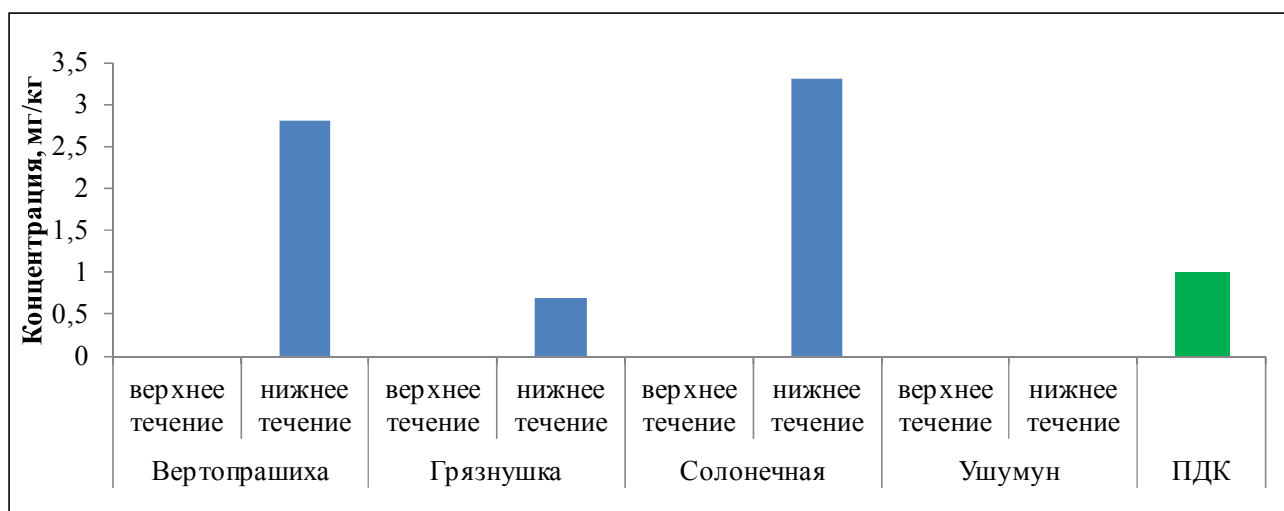


Рис. 5. Концентрации свинца в жабрах рыб

Fig. 5. Concentration of lead in the gills of fish

бласты теряют способность использовать железо для синтеза гемоглобина, накапливая порфирин. Вследствие этого в организме отмечается недостаток гемоглобина (анемия) и избыток неиспользованного порфирина (порфирурия). Проявлениями свинцового токсикоза являются также лордозы, сколиоз, тремор и омертвление сенсорных и поддерживающих клеток боковых линий рыб [10].

Заключение

Как показали результаты проведенных исследований, превышение адсорбирования в жабрах рыб (на примере голяна Лаговского) тяжелых металлов закономерно происходит в нижнем течении малых рек исследуемого района, что, вероятно, связано с применением мелиорации, накоплением в почве и дальнейшим смывом в реки тяжелых металлов и их соединений, содержащихся в удобрениях.

В жабрах голянов Лаговского, обитающих в нижнем течении рек Грязнушка, Вертопрашиха и Солонечная, обнаружены повышенные концентрации железа, марганца, значительно превышающие ПДК для промысловых рыб. В жабрах рыб из низовий рек Грязнушка и Солонечная обнаружены также высокие концентрации свинца, значительно превышающие ПДК. Такие высокие концентрации тяжелых металлов в первую очередь опасны для человека как потребителя рыбы. Также страдают и сами популяции рыб, высокие концентрации тяжелых металлов вызывают угнетение их физиологических циклов, возникновение ряда заболеваний, патологии эмбрионального и постэмбрионального развития.

Концентрации цинка и меди в жабрах голянов из низовий рек Грязнушка, Вертопрашиха и Солонечная также превышают концентрации данных металлов в верхнем течении рек, что говорит о накоплении при мелиорации загрязнений тяжелыми металлами в низовьях. Концентрации этих металлов в жабрах голянов не превышают ПДК, допустимых для промысловых рыб.

Как в верхнем, так и в нижнем течении реки Ушумун, бассейн которой наименее освоен мелиорацией, концентрации тяжелых металлов (железа, марганца, цинка, меди, свинца) в жабрах голяна Лаговского не превышали ПДК, допустимых для употребляемых в пищу промысловых рыб.

Таким образом, наши исследования подтвердили значительную аккумуляцию тяжелых металлов в почве, воде и биоте в низовьях рек, бассейны которых подвергаются интенсивной мелиорации. В ряде случаев концентрации тяжелых металлов в тканях рыб превышают ПДК для пищевых продуктов.

Работа выполнена в рамках госзадания ИКАРП ДВО РАН.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богуцкая Н.Г., Насека А.М. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 389 с.
2. Брень Н.В., Домашлинец В.Г. Беспозвоночные как мониторы полиметаллического загрязнения донных отложений // Гидробиологический журнал. 1998. Т. 34, № 5. С. 80–93.

3. Бурик В.Н. Ихтиофауна Еврейской автономной области // Региональные проблемы. 2008. № 10. С. 68–75.
4. Веселов Е.А. Определитель пресноводных рыб фауны СССР. М.: Просвещение, 1977. 238 с.
5. Воробьев В.И., Самилкин Н.С. Динамика микроэлементов в органах и тканях рыб дельты р. Волги // Микроэлементы в жизни населения водоемов. М.: Наука, 1980. С. 3–28.
6. Горюхин М.В., Зубарев В.А., Аношкин А.В. Антропогенное преобразование пойменно-русловых комплексов рек Среднего Приамурья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2-2. С. 337–340.
7. Зубарев В.А. Влияние осушительной мелиорации на содержание тяжелых металлов в пойменных почвах Среднеамурской низменности // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 4 (28). С. 6–16.
8. Кулаков В.В. Геохимия подземных вод Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
9. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 286 с.
10. Щербакова Е.Н. Возрастные изменения содержания тяжелых металлов в органах и тканях русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2004. 24 с.
11. Zubarev V.A., Kogan R.M. Ecological Conditions of Watercourses in the Middle Amur Lowland in the Areas of Drainage Reclamation // Water Resources. 2017. Vol. 44, N 7. P. 940–952.

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE RIVERS
IN JEWISH AUTONOMOUS REGION AND THE CONTENT
OF HEAVY METALS IN THE GILLS OF THE MINNOW (PHOXINUS)

V.A. Zubarev, V.N. Burik

*The article presents the results of hydrochemical analysis of water from some small rivers in Jewish Autonomous region. The results of the studies showed that the accumulation of heavy metals (Fe, Zn, Pb) in the gills of the Lagovsky minnow (*Phoxinus Lagowskii*) occurs in the lower reaches of small rivers of the study area, which is directly related to the deterioration of hydrochemical parameters of small rivers exposed to the influence of drainage reclamation.*

Keywords: *small rivers, hydrochemistry, heavy metals, minnow *Phoxinus Lagovsky*.*