

Аминова А.А.¹, Суюндуков Я.Т., Янтурин И.Ш.²

¹Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета

²Институт региональных исследований Республики Башкортостан,
г. Сибай, Республика Башкортостан

E-mail:janturin1985@mail.ru

МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ ЗАУРАЛЬЯ (на примере озера Чебаркуль Республики Башкортостан)

Загрязнение водных экосистем тяжелыми металлами (ТМ) является одной из глобальных проблем современности. Для сохранения устойчивости водных экосистем, способности к самовосстановлению и саморегуляции, в условиях постоянного техногенного воздействия, наряду с контролем содержания ТМ в компонентах экосистем, необходимо изучать особенности их аккумуляции и миграции.

Актуальность исследований обусловлена тем, что регион Южного Урала представляет собой аномальную геохимическую провинцию с высоким содержанием многих ТМ, имеющих не только техногенное, но и природное происхождение.

Впервые для условий данного региона проведены комплексные исследования по изучению биогеохимической миграции Cu, Zn, Fe, Mn, Cd в водных трофических цепях, что определяет новизну исследований.

Суммарный показатель загрязнения воды в озере тяжелыми металлами (Zc) образует ряд убывания Fe > Zn > Mn > Cu > Cd. В донных отложениях соединения ТМ снижается в ряду Fe > Mn > Zn > Cu > Cd. *Eloдея canadensis* L. является концентратором Zn и Mn, *Sphagnum Dill L.* и *Carex paniculata* L. отвергают все ТМ. Во всех изученных нами растениях тяжелые металлы образуют убывающий ряд: Mn > Zn > Fe > Cu > Cd. По степени концентрации ТМ органы карася обыкновенного и окуни обыкновенного можно расположить в следующий убывающий ряд: жабры > печень > почки > кости > чешуя > мышцы.

Мышцы – это основной продукт, который человек использует у рыб, поэтому даже при очень высоком содержании ТМ во всех компонентах экосистемы озера Чебаркуль, мясо его обитателей вполне безопасно для употребления в пищу.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, предельно допустимые концентрации, донные отложения, суммарный показатель загрязнения, распределение по органам.

В последнее время в связи с загрязнением окружающей природной среды продуктами техногенеза объектом пристального внимания экологического мониторинга стали тяжелые металлы (ТМ), занимающие особое положение среди приоритетных загрязняющих веществ пресноводных экосистем. Широкое обсуждение данной проблемы в научных изданиях осветило специфику ТМ в природных водах [6], [8], выявило источники попадания химических элементов в поверхностные воды, особенности их аккумуляции в донных отложениях и перехода по пищевым цепям [12], выяснило опасность аккумуляции вредных веществ тканями рыб, употребляемых в пищу [3], [11]. Но работ, посвященных особенностям накопления и динамики ТМ в компонентах водных экосистем в условиях природных геохимических аномалий, каковым является Зауральский регион Южного Урала, почти нет или в них данная проблема освещается однобоко [2], [9], [10], что и определяет актуальность данных исследований.

Специфичность экологических условий Зауралья вызвана наличием многочисленных рудных месторождений и в связи с этим – высоким развитием в регионе промышленного производства, особенно чёрной и цветной металлургии. На близлежащих к озеру территориях расположены следующие месторождения полезных ископаемых: Кусимовское и Ялимбетовское марганцевых руд, Кутырды и Хамитовское хромовых руд, Абзелиловское рассыпного золота, Зингейское бокситов, Богдановское железной руды, а также ведется добыча магнезита, облицовочных и поделочных камней, известняка, мрамора и торфа [1]. Природные и техногенные факторы, накладываясь друг на друга, формируют провинцию с избыточным содержанием меди, цинка, железа и других элементов. Проблема усугубляется тем, что население расположенных вокруг озера Чебаркуль сёл Давлетово, Кушеево, Селивановский, Тупаково, Красная Башкирия, а также города Магнитогорск употребляет в пищу рыбу озера, подвергая себя опасности быть зараженными избыточным ко-

личеством ТМ. Таким образом, научная новизна работы определена тем, что впервые изучена динамика микроэлементов в воде, донных отложениях и их миграция по пищевым цепям водной экосистемы, расположенной в аномальной геохимической провинции.

Цель работы – исследование транспортировки ТМ в цепи «донные отложения – вода – растения – рыбы» в экосистеме озера Чебаркуль.

Материал и методы

Объектом исследования является озеро Чебаркуль, расположенное на территории Абзелиловского района Республики Башкортостан (РБ) на высоте 320 м над уровнем моря в непосредственной близости от Магнитогорского аэропорта международного значения и города Магнитогорск с высокоразвитой промышленностью. Максимальная глубина озера составляет 7 м. Озеро проточное, оно оказывает заметное регулирующее влияние на водный режим реки Янгелька, протекающей через него. Вдоль южного берега, там, где вытекает река, построена дамба, формирующая искусственный водосбор в целях поддержания необходимого уровня воды в летнюю межень и для обеспечения потребностей на орошение сельскохозяйственных полей, а также рыболовства. Дно озера илистое, берега болотистые [5]. Обнаруживается процесс эвтрофикации водоема, что связано со значительным выносом продуктов эрозийной деятельности реки Янгелька и органики из пастбищ, расположенных на водосборной площади.

Нами определено содержание меди, цинка, железа, марганца и кадмия в воде, донных отложениях, в водных растениях и органах рыб озера Чебаркуль. Выбор металлов определен общим геохимическим фоном, характеризующимся высокой концентрацией этих элементов в окружающей среде Зауралья, а также специфической продукцией Магнитогорского металлургического комбината. В качестве объекта исследования из растений выбраны *Elodéa canadénsis* L. и *Sphagnum* Dill L.

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных экологических групп зависит от характера их питания, а также интенсивности обменных процессов. Нами выбраны два вида распространенных в исследуемом водоеме рыб: в качестве травоядного животного – карась

(*Carassius carassius* L.) и как представитель хищных рыб – окунь (*Perca fluviatilis* L.).

Пробные площадки (ПП) выбраны на прибрежной зоне озера с учетом отсутствия или наличия антропогенного пресса.

Первая площадка (ПП 1) находилась на южной стороне озера, здесь вблизи находится деревня Селиваново, проложена автомобильная дорога; вторая площадка (ПП 2) выбрана на северной стороне озера, где в водоем впадают реки Могак и Янгелька, протекающие через малые населенные пункты Тупаково, Абзелилово, Таштимерово, Михайловка; третья площадка (ПП 3) находилась на западной стороне озера в непосредственной близости от деревни Давлетово; четвертая площадка (ПП 4) расположилась вблизи от Магнитогорского аэропорта.

Содержание ТМ (меди, цинка, железа, марганца и кадмия) в воде, донных отложениях, водных растениях и органах рыб определяли атомно-абсорбционным методом в Центральной лаборатории Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001515358). Уровень загрязнения донных отложений оценивали по величине суммарного показателя загрязнения Zc [15]. ПДК ТМ в воде определяли по ГОСТ 27065-86 [14] для рыбохозяйственных вод. Для экологической оценки загрязненности донных осадков исследуемыми металлами использовали кратность превышения их геохимической фоновой концентрации, разработанные Институтом минералогии геохимии и кристаллографии редких элементов [7]. Содержание ТМ в растениях оценивали по S.W. Melsted [17], в органах рыб – по нормативу «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах» [13].

Результаты и их обсуждение

В донных отложениях озера содержание меди, цинка и железа превышает геохимический фон (ГФ). Концентрация Mn и Cd не превышает фоновый показатель.

Суммарный показатель содержания ТМ в донных отложениях образует следующий ряд убывания: Fe>Mn>Zn>Cu>Cd. По содержанию ТМ донные отложения озера Чебаркуль относятся к категориям «слабо загрязненные» и «допустимо загрязненные» (табл. 1).

В водах озера Чебаркуль содержание Cu превышает ПДК в 1,2–19,2 раза; Zn – в 6–15,4 раза; Mn – в 4–7 раз; Fe – до 63 раз (рис. 1). Наличие населенного пункта и расположенного рядом автомобильной дороги с интенсивным движением на юге озера (ПП 2), загрязнение через атмосферу со стороны г. Магнитогорска с высокоразвитой черной металлургией и международным аэропортом (ПП 3), а также привнесение ТМ реками Могак и Янгелька, протекающими через малые

населенные пункты (ПП 1), способствуют высокому содержанию исследуемых элементов.

Следует отметить, что высокотоксичный кадмий в воде озера не превышает норму. Таким образом, содержание в воде всех исследуемых металлов, кроме кадмия, выходит за пределы ПДК, определяемой для вод рыбохозяйственного значения.

Суммарный показатель загрязнения ТМ (Zc) воды озера образует следующий ряд убывания:

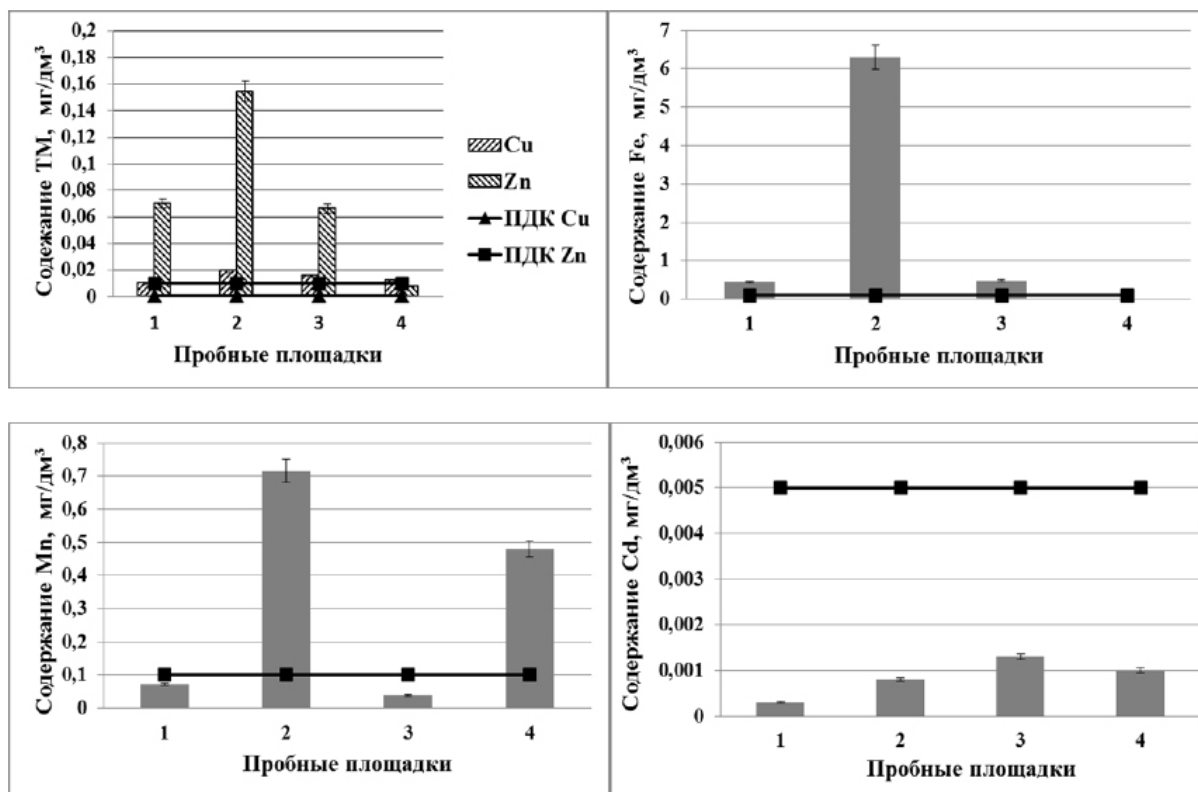


Рисунок 1. Содержание ТМ в воде озера Чебаркуль (—■— – ПДК).

Таблица 1. Суммарный показатель загрязнения донных отложений озера Чебаркуль

| Точки отбора | Zc | Степень загрязнения |
|--------------|-----|------------------------|
| ПП 1 | 6,7 | Слабо загрязненная |
| ПП 2 | 5,8 | Слабо загрязненная |
| ПП 3 | 9,6 | Допустимо загрязненная |
| ПП 4 | 3,2 | Слабо загрязненная |

Таблица 2. Суммарный показатель загрязнения воды озера Чебаркуль

| Точки отбора | Zc | Степень загрязнения |
|--------------|-------|---------------------|
| ПП 1 | 22,26 | Умеренно опасная |
| ПП 2 | 87,55 | Опасная |
| ПП 3 | 27,45 | Умеренно опасная |
| ПП 4 | 80,76 | Опасная |

Fe>Zn>Mn>Cu>Cd и соответствует категориям от «умеренно опасной» до «опасной» (табл. 2).

Содержание Cu, Fe и Cd в растениях исследуемого водоема находится в допустимых пределах (ПДК_{Cu} – 40,0 мг/кг, ПДК_{Fe} – 250,0 мг/кг, ПДК_{Cd} – 3,0 мг/кг, ПДК_{Mn и Zn} = 150 мг/кг).

*Elodéa canadénsis*L. является концентратором Zn и Mn, *Sphagnum Dill* L. и *Carex paniculata*L. не накапливают ТМ. У обоих видов изученных растений содержание ТМ снижается в следующем порядке: Mn>Zn>Fe>Cu>Cd.

Рисунок 2 отражает распределение химических элементов по органам рыб и дает возможность сравнивать содержание металлов с их ПДК. Исследуемые органы и ткани обоих видов рыб

в среднем имеют убывающие ряды накопления: Fe (Zn) > Zn (Fe) > Mn > Cu > Cd. Выявлено, что, во-первых, в органах хищной рыбы *Percafluviatilis*L. содержится больше ТМ, чем в органах травоядного *Carassiuscarassius*L., что соответствует правилу: чем выше трофический уровень организма, тем больше в нем накапливаются поллютанты. Во-вторых, у обоих видов рыб ТМ в основном накапливаются в жабрах, печени и почках. По степени концентрации ТМ органы карася и окуня можно расположить в следующий убывающий ряд: жабры > печень > почки > кости > чешуя > мышцы. Жаберный эпителий по сравнению с другими покровами рыб имеет значительно большую поверхность и активно взаимодействует с внеш-

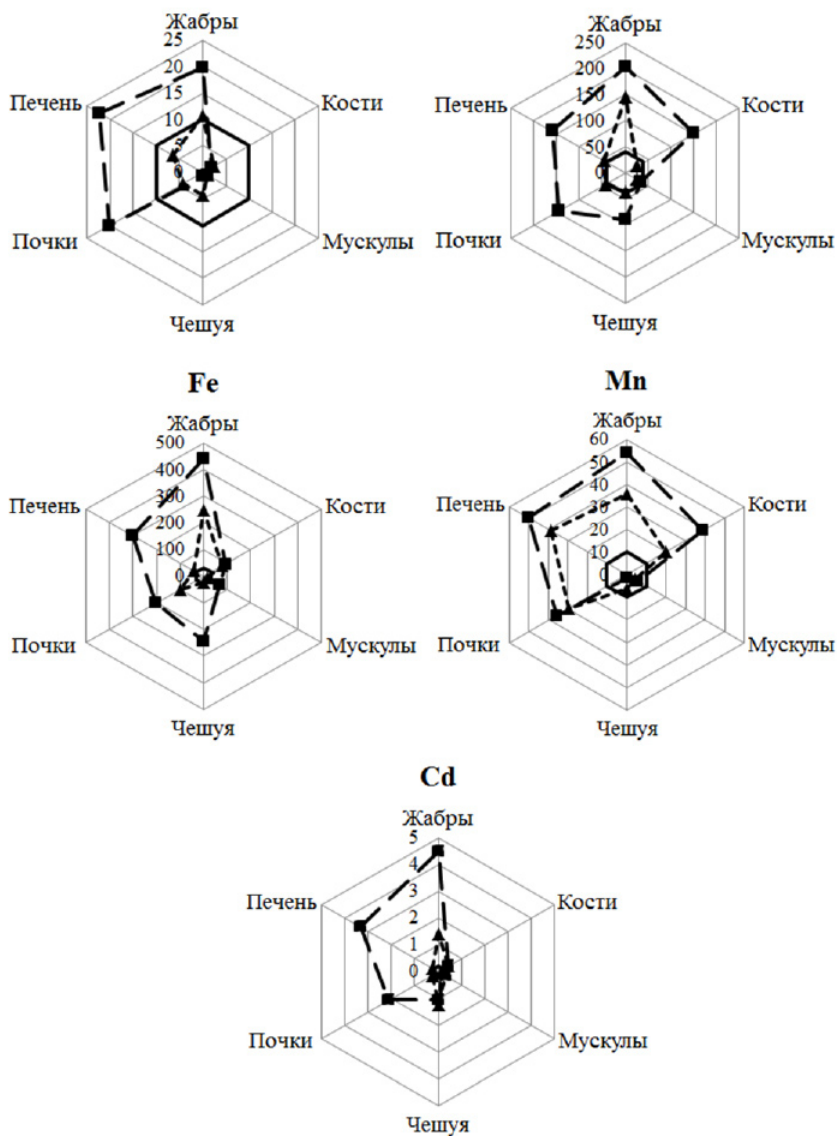


Рисунок 2. Содержание ТМ в органах рыб (—▲— CarassiuscarassiusL., —■— PercafluviatilisL., — — ПДК).

ней средой, поэтому жабры фактически лишены защиты от действия различных веществ, присутствующих в воде, в том числе и металлов [4]. Печень выполняет роль барьера в транспортировке металла в организм рыбы, а почки стараются вывести элемент из организма, так как этот орган богат ретикуло-эндотелиальными клетками. В-третьих, в мышечной ткани обоих видов рыб

обнаружено минимальное количество ТМ, содержание которых в основном находится в рамках ПДК. Мышцы – это основной продукт, который человек использует у рыб, поэтому даже при очень высоком содержании ТМ во всех компонентах экосистемы озера Чебаркуль, мясо его обитателей вполне безопасно для употребления в пищу.

12.05.2016

Список литературы:

1. Атлас Республики Башкортостан (Гл. редактор Яппаров И.М.). Уфа: ГУП «Государственное республиканское издательство «Башкортостан», 2005. 419 с.
2. Валитова А.Ш., Кужина Г.Ш. Пространственная изменчивость содержания тяжелых металлов в воде озера Графское // Неделя науки. 2015: Материалы региональной студенческой научно-практической конференции (3 апреля 2015 г.), г. Сибай. В 2-х частях: Ч. I / отв. ред. И.С. Хамитов. Сибай: Издательство ГУП РБ «Сибайская городская типография», 2015. С. 260-264.
3. Воробьев В.И., Зайцев В.Ф., Щербакова Е.Н. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра (монография). Астрахань: ООО «ЦНТЭП», 2007. С. 15-24.
4. Вундцеттель Е.Н. Тяжелые металлы в живом организме. М: МГУ, 2002. 15 с.
5. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. Уфа: Китап, 2001. 260 с.
6. Даувальтер В.А. Химический состав отложений пресноводных водоёмов Европейской Субарктики как показатель состояния водных ресурсов // Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX века, перспективы и последствия / под ред. акад. РАН В.Т. Калиникова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 192–201.
7. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб.: Изд-во «Глобус», 2012. 140 с.
8. Комов В.Т., Томилина И.И. Токсичность донных отложений озер северо-запада России: влияние закисления и тяжелых металлов. // Биология внутренних вод. 1999. №1-3. С. 141-147.
9. Курамшина Н.Г., Туктарова И.О., Курамшин Э.М., Имашев У.Б. Геохимическое состояние поверхностных вод Башкортостана в зоне техногенного влияния // Стратегические направления и инструменты повышения эффективности сотрудничества стран-участников Шанхайской организации сотрудничества: экономика, экология, демография: Сборник научных статей (24-26 сентября 2013 г). Часть I. Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2013. С. 278-279.
10. Кужина Г.Ш. Динамика микроэлементов в воде и донных отложениях верховий рек Южного Урала (Белая и Урал). Автореф. дис. к. б. н. Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна РАН, 2010. 18 с.
11. Лобанова Т.А. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2008. Т. 14. № 1. С. 18-21.
12. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: теоретические принципы и практическое предложение // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 5. С. 554-565.
13. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. N 4089-86 от 31 марта 1986 г.
14. Приказ ФА по России №20 от 18.01. 2010 г. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.
15. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М. Недра, 1990. 336 с.
16. Файзуллина Г.И., Кужина Г.Ш., Ягафарова Г.А. Содержание тяжелых металлов (марганца, железа) в водах Ириклинского водохранилища // Эколого-биологические и медицинские исследования на Южном Урале: Сборник материалов Всероссийской заочной научно-практической конференции (15 мая 2012 г.). Уфа: РИИЦ БашГУ, 2012. С. 89-93.
17. Melsted S.W. Soil-plant relationships (some practical considerations in waste management). In Proc. Of the Joint Conf. on Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land. EPA, USDA and NASULGC. Washington, DC. 1973 P. 121-128.

Сведения об авторах:

Аmineва Ани́са Ахметса́феевна, доцент кафедры экологии Сибайского института (филиал) Башкирского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент
453830, Республика Башкортостан, г. Сибай, ул. Белова-21
E-mail: aminevaaa@mail.ru

Суяндукв Ялиль Тухватович, директор Института региональных исследований Республики Башкортостан, доктор биологических наук, профессор
453837, Республика Башкортостан, г. Сибай, ул. Кутузова, д. 1
E-mail: yalil_s@mail.ru

Янту́рин Илья́т Шафка́тович, младший научный сотрудник Института региональных исследований Республики Башкортостан, кандидат биологических наук
453837, Республика Башкортостан, г. Сибай, ул. Кутузова, д. 1.
E-mail: janturin1985@mail.ru