

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.4.054

Экогеохимическая и биоиндикационная оценка загрязнения малых рек города Березники**Е.С. Ушакова, П.А. Белкин, М.А. Бакланов, Е.В. Дробинина, А.Ю. Пузик**

Пермский государственный национальный исследовательский университет

614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: pashabelkin@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 24 октября 2022 г.)

В данном исследовании представлены результаты оценки состояния рек Толыч, Зырянка и Быгель, протекающих в зоне с высокой техногенной нагрузкой (г. Березники, Пермский край). Проведена оценка качества воды с использованием интегральных геохимических показателей. Характеристики макрозообентоса изучены в качестве биоиндикатора экологического состояния водотоков. Формирование микроэлементного состава и, как следствие, качества вод связано как с естественными, так и с антропогенными факторами. В данном исследовании показана важность выбора подхода к оценке качества вод. Результаты расчета индекса нагрузки металлами (MI) демонстрируют непригодность водных биологических ресурсов рек Толыч, Зырянка и Быгель для использования в питании человека.

Ключевые слова: *поверхностные воды, малые реки, интегральные показатели загрязнения, урбанизированные территории, микроэлементы, зообентос.*

DOI: 10.17072/psu.geol.21.4.375

Введение

Снижение качества водных ресурсов в пределах урбанизированных территорий является закономерным явлением (Клёцкина, 2022; Копылов, 2014). Поступление с урбанизированных и селитебных территорий ливневых и талых вод приводит к загрязнению водотоков нефтепродуктами, соединениями азота, взвешенными веществами и тяжелыми металлами (Семенов, 2013; Abdel-Satar, 2017; Ushakova, 2021). Кроме того, в поверхностные воды осуществляется сброс сточных вод коммунальных и производственных предприятий, очистка которых не всегда проводится в должной степени (Коронкевич, 2022). Такие стоки могут нести с собой химические загрязнители, приводить к эвтрофикации, кислородному голоданию, тепловому загрязнению водных объектов, что в свою очередь неизбежно сказывается на условиях обитания водных организмов (Говоркова, 2020). Учитывая важную роль малых рек как нерестилищ, они оказывают значительное влияние на экологическое состояние более крупных водотоков и играют

важную роль в воспроизводстве многих видов рыб.

Ярким примером проявления высокой урботехногенной нагрузки на малые реки служит территория Березниковско-Соликамской агломерации (Белкин, 2020). Крупная городская агломерация и широкий перечень промышленных предприятий различных отраслей оказывают значительное влияние на состояние местной гидросферы. По результатам многочисленных исследований (Лепихин, 2020; Меньшикова, 2016; Зиновьев, 2018; Khayrulina, 2022 и др.), высокий уровень техногенного воздействия характерен как для малых рек района, так и для Камского водохранилища.

Стоит отметить, что система мониторинга качества малых водотоков на территории Соликамско-Березниковской агломерации в настоящее время развита недостаточно. В связи с этим целью настоящего исследования является достоверная оценка современного состояния вод малых рек города Березники (р. Быгель, р. Зырянка и р. Толыч), проводимая с использованием современных оценочных инструментов.

Материалы и методы исследований

Исследуемые реки расположены в пределах Березниковского городского округа Пермского края (59°24'29" N 56°48'19" E). Р. *Толыч* берет начало на северо-восточной границе города Березники и протекает через комплекс промышленных предприятий (титаномагниевого комбинат, ТЭЦ, содовый завод). Р. *Быгель*, верховья которой расположены в зоне влияния калийного рудоуправ-

ления, протекает по восточной границе города вдоль зоны жилой застройки, после чего впадает в р. *Зырянку*, которая огибает город с южной стороны. Сток Зырянки зарегулирован водохранилищами, в приустьевой части расположены затопленный калийный рудник и ряд крупных химических производств. По данным Камского БВУ, во все изучаемые водотоки осуществляется сброс сточных вод.

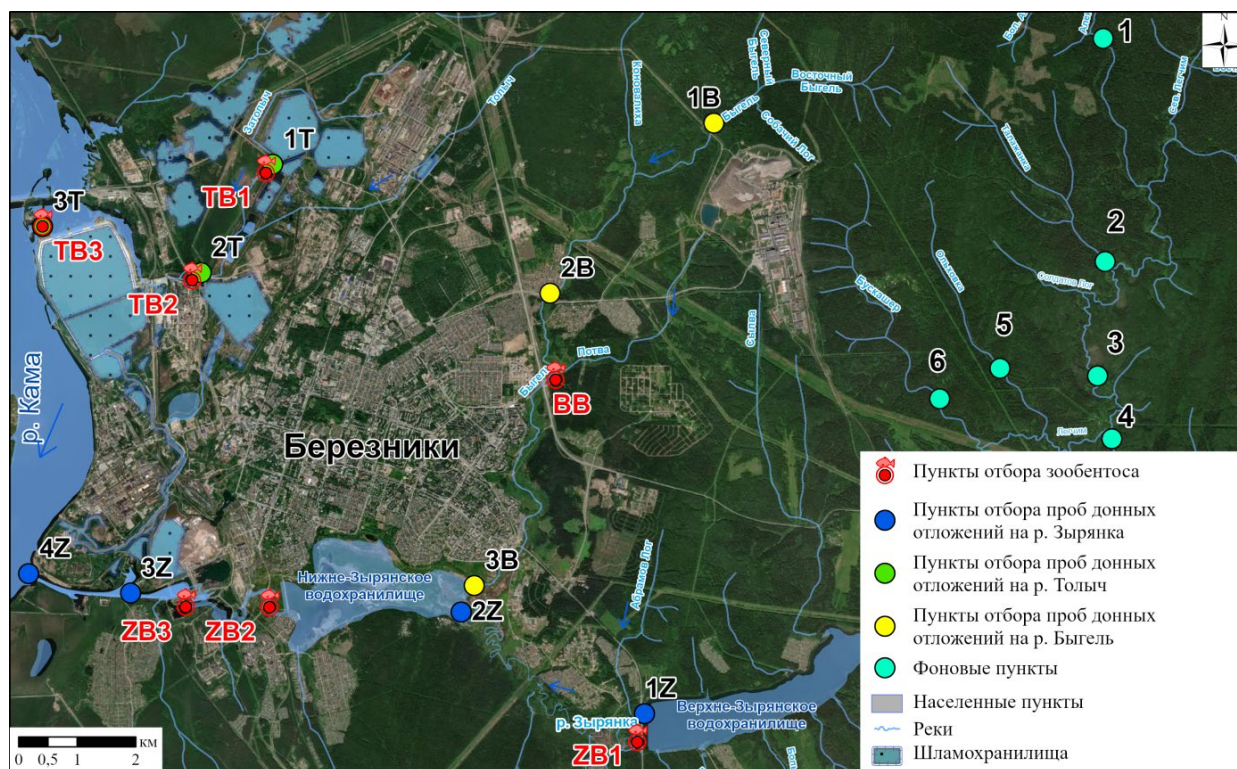


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб в районе исследования

В летний меженный период (конец августа) 2018 г. был произведен отбор проб воды в верхнем, среднем и нижнем течении р. Толыч (1Т-3Т), среднем и нижнем течении рр. Быгель (1В-3В) и Зырянки (1Z-4Z). Для установления местного фона наряду с этими образцами были отобраны 6 проб из рр. Аленка, Бушкашер, Ольховка, Орловка, Талажанка, Легчим, которые расположены на значительном удалении от источников антропогенного воздействия (рис. 1).

Отбор проб речных вод для исследований микроэлементов производили из слоя 0,5 м от поверхности в хорошо промытую пластиковую тару объемом 0,1 л. В каждую ёмкость добавляли HNO_3 для стабилизации образцов до $\text{pH} < 2$. Хранение проб до прове-

дения анализа производилось при фиксированной температуре – 4°C.

В воде определены следующие показатели: pH – потенциометрическим методом; Li, V, Ti, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Sr, Ba – методом масс-спектрометрии ICP-MS на приборе спектрометр AuToGA M90 ICP-MS, Bruker. Точность анализа была проверена путем анализа пустых образцов и сертифицированных стандартных образцов. Анализ микроэлементов проводился в трех сериях, результаты анализа были представлены в виде среднего значения, ошибка не превышала 10%.

Для определения таксономической структуры макрозообентоса произведен отбор проб в 7 точках опробования: в бассейне

р. Толыч (ТВ1-ТВ3), в бассейне р. Зырянка (ЗВ1-ЗВ3) и в среднем течении ее притока – р. Быгель (ВВ) (рис. 1). Отбор проб зообентоса проводили гидробиологическим скребком с шириной лезвия 20 см. Площадь облова определялась умножением ширины скребка на длину протяга. Организмы бентоса отделяли от грунта путем многократного отмучивания в кювете и процеживания слива через мельничный газ № 49 и фиксировали 4% формалином. Идентификация организмов осуществлялась на основании систематической принадлежности гидробионтов (Руководство..., 1992).

Обработку результатов исследований микроэлементного состава образцов проводили с использованием широкого ряда классификационных и комплексных показателей.

Расчет способности микроэлементов к миграции в воде, либо аккумуляции в донных осадках, проводили с использованием коэффициента распределения K_d

$$K_d = C_s / C_w,$$

где C_s и C_w – содержание микроэлементов в донных отложениях и в поверхностных водах, соответственно. Логарифм ($\log(K_d)$) этого показателя надёжно отражает способность веществ к миграции между водной фазой и твердой фазой, что позволяет оценить потенциальную экологическую опасность загрязняющих веществ (Li и др., 2017; Nabelkova, 2014).

Классификация степени загрязнения воды металлами и металлоидами произведена с применением диаграммы Фиклика-Кабоя (Sharmin, 2020; Zakir, 2020). Согласно данному подходу, разработанному в 1990-х гг., степень загрязнения элементами в пределах исследуемых бассейнов оценивались как отношение рН к сумме элементов $Li+V+Ti+Al+Cr+Mn+Fe+Ni+Cu+Zn+As+Cd+Pb+Sr+Ba$ (мкг/л).

Комплексный анализ качества воды произведен с применением интегральных показателей. *Индекс содержания металлов (MI)*, согласно Тамаси и Чини (Tamasi, Cini, 2004), рассчитан по формуле:

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(ПДК)_i},$$

где C_i – концентрация i -го элемента в образце, а ПДК – предельно допустимая концентрация, основанная на значениях российских

рыбохозяйственных нормативов. Показатель MI классифицирует качество воды на шесть классов: от очень чистых до чрезвычайно загрязненных.

Оценка потенциальной экологической опасности (ERI), связанной с содержанием микроэлементов в воде (Maskooni et al., 2020), рассчитана по формуле:

$$ERI = \sum_{i=1}^n [T_i \times \frac{C_i}{M_i}],$$

где C_i – концентрация i -го элемента, измеренного в образце, M_i – фоновое содержание i -го элемента в поверхностных водах, T_i – коэффициент токсичности, который отражает уровень его токсичности и чувствительность биоты к нему (Fu et al., 2009). Принятые значения коэффициента токсичности: $Cd=30$; $Cr=25$; $Ni=As=10$; $Cu=Pb=5$; $V=2$; и $Mn=Zn=1$ (Yu et al., 2021). Показатель ERI классифицирует качество воды по категориям экологического риска: низкий, умеренный, значительный и очень высокий (Maskooni et al, 2020).

Рассчитанные аналитические результаты ERI и MI были импортированы в ArcGIS для демонстрации параметров качества поверхностных вод. С помощью приложения Statistica были обработаны различные описательные данные (среднее значение, минимум, максимум), диаграмма размаха и многомерный статистический анализ (кластерный анализ) по методу Уорда. MS Excel 19 использовался для построения диаграммы Фиклика-Кабоя.

Результаты и их обсуждение

Содержание микроэлементов в изучаемых водотоках

Концентрации микроэлементов в исследуемых реках представлены в табл. 1. Средняя концентрация исследуемых элементов в воде р. Толыч следовала в следующем порядке убывания: $Sr > Fe > Ba > Mn > Ti > Li > Al > Ni > Cr > Zn > Cu > As > Cd > Pb$.

При сравнении с нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) в точке отбора 2Г отмечено превышение концентраций по Mn (в 3,6 раза) и Cu (1,1). На всем протяжении водотока зафиксировано превышение по Fe (1,7–4,9) и Sr (4,1–7,5). В устье реки отмечено превышение по Fe и Sr до 4,9 и 6,7 раза, со-

ответственно. Средняя концентрация Sr в воде (614,32 мкг/л) превышает ПДК_{рх} (400 мкг/л).

Средняя концентрация исследуемых элементов в воде р. Быгель следовала в следующем порядке убывания: Sr > Fe > Ba > Mn > Ti > Li > Ni > Cr > Zn > As > Al > Cu > Cd > Pb. Относительно ПДК_{рх} в устьевой части (3В) зафиксирована высокая концентрация Sr (6,7) и Mn (3,9). На всем протяжении водотока наблюдается превышение относительно по V (1,6–6,0) и Fe (1,1–3,4), причем концентрации V уменьшаются вниз по течению, а концентрации Fe – возрастают. В устьевой части реки перед впадением в р. Зырянку ПДК_{рх} превышает Sr (6,7), Mn (3,9), Fe (3,4) и V (1,6). Средняя концентрация Sr – 1074,63 мкг/л.

Средняя концентрация микроэлементов в воде р. Зырянка следовала в следующем порядке убывания: Sr > Fe > Ba > Ti > Li > Mn > Al > Ni > Zn > Cr > As > V > Cu > Cd > Pb. Ниже Верне-Зырянского вдхр. отмечено превышение по V (2,1) и Mn (1,2). На всем протяжении исследуемой части водотока от 1Z до 4Z зафиксированы высокие концентрации Sr (1,1–6,1) и Fe (1,2–2,9) с тенденцией снижения их к устьевой части. Средняя концентрация Sr в воде составила 1204,50 мкг/л.

Расчет миграционной способности микроэлементов

Логарифм коэффициента распределения Log(Kd) рассчитан для металлов и металлоидов с учетом сводных данных по всей терри-

тории исследований. По результатам расчета выявлена следующая последовательность миграционной способности элементов: Pb > Cu > V > Cr > Zn > Ni > Ba > Cd > Li > As > Sr (рис. 2), где свинец наименее подвижен, а стронций – наиболее.

Результаты расчета коэффициента распределения большинства элементов соответствуют диапазону Log(Kd) < 3, что свидетельствует о преимущественном нахождении металлов в жидкой фазе.

Диапазон значений 3 < logKd < 4 свидетельствует о поступлении загрязняющих веществ в водный объект из твердой фазы (донных отложений) в жидкую. В такой диапазон вошли Zn и Cu в точке опробования 2Т, Pb – в точках 2Т и 3В.

Разовые значения по Cu (1В) и Pb (1Т) попали в диапазон logKd > 4, что означает что медь и свинец в этих точках связаны с твердой фазой (донные отложения) и лишь незначительно мигрируют в жидкую фазу.

Классификация степени загрязнения воды металлами

Диаграмма Фиклика-Кабоя (рис. 3) была использована для классификации степени загрязнения поверхностных вод металлами на основе их подвижности в различных кислотно-щелочных условиях.

Анализ данных диаграммы свидетельствует о преимущественно нейтральных и щелочных условиях в изученных водотоках. Содержание металлов находится на среднем и относительно высоком уровне, не достигая экстремальных значений.

Таблица 1. Концентрации микроэлементов в воде (мкг/л) рек Толыч, Быгель и Зырянка

	Li	V	Ti	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Sr	Ba
Река Толыч															
1Т	16,4	0,8	5,6	1,2	2,9	0,9	179,8	1,2	0,5	1,3	0,3	0,05	<0,1	412,4	71,0
2Т	20,0	0,7	6,5	14,1	4,1	36,1	283,2	5,5	1,1	0,4	0,6	0,05	<0,1	759,4	68,7
3Т	6,7	0,5	13,8	1,6	1,5	8,4	496,9	3,5	0,8	1,5	0,4	0,07	<0,1	671,2	234,2
Река Быгель															
1В	1,9	6,0	1,2	0,6	2,6	0,5	105,2	0,4	0,0	1,7	1,0	0,05	<0,1	148,1	16,5
2В	4,5	4,1	4,7	0,4	2,7	0,2	220,6	1,0	0,0	1,8	0,8	0,05	<0,1	391,5	68,0
3В	13,7	1,6	22,0	0,8	3,1	39,9	340,5	5,1	0,7	1,1	2,2	0,06	<0,1	2684,3	114,8
Река Зырянка															
1Z	3,5	2,1	2,7	6,6	1,4	12,7	162,5	0,9	0,2	1,6	0,7	0,05	<0,1	524,0	25,0
2Z	9,3	0,8	18,0	1,4	1,6	1,1	299,1	3,4	0,5	1,2	1,7	0,06	<0,1	2421,7	90,1
3Z	5,7	0,4	5,7	2,4	1,2	1,1	222,9	1,4	0,1	1,7	0,9	0,05	<0,1	1444,4	39,3
4Z	4,0	0,4	4,4	1,1	1,3	0,6	123,7	0,8	0,0	1,7	0,5	0,06	<0,1	427,9	21,0
Фон	-	1,85	-	-	1,51	21,18	-	1,97	1,68	10,67	1,41	0,32	4,14	-	-
ПДК _{рх}	80	1	60	40	20	10	100	10	1	10	50	5	6	400	740

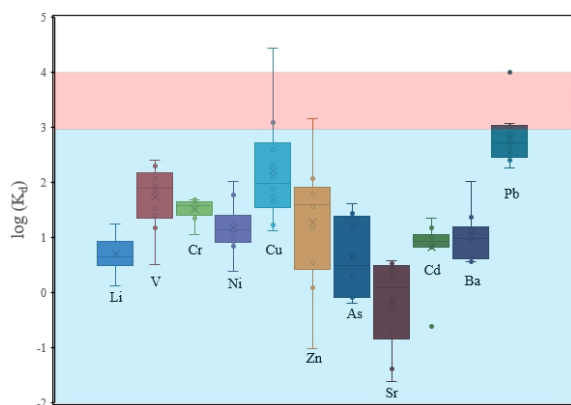


Рис. 2. Диаграмма размаха $\text{Log}(K_d)$ для исследуемых элементов во всех водных объектах. Голубая зона соответствует $\text{Log}(K_d) < 3$, розовая зона – $3 < \text{Log}(K_d) < 4$ и $\text{Log}(K_d) > 4$, согласно классификации Набелковой и Коминковой (Nabelkova, 2014)

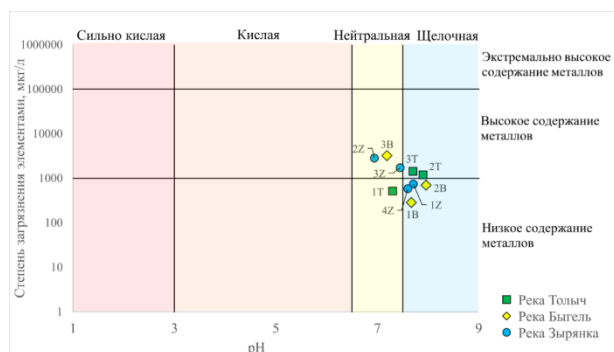


Рис. 3. Диаграмма Фиклика-Кабоя показывающая степень загрязнения элементами к водородному показателю

Причем содержание металлов в приустьевых зонах водотоков закономерно растёт. Самое высокое содержание элементов среди всех исследуемых бассейнов зафиксировано в точке опробования 3В и самое низкое – 1В.

Оценка качества поверхностных вод

На рис. 4 приведены рассчитанные значения MI , на основании ПДК рыбохозяйственного значения, для каждого участка реки. Значения MI в бассейне р. Толыч варьировались от 5,1 до 11,8 при среднем 9,0.

Качество вод от 1Т до 2Т соответствуют категории «грязные» по показателю MI , ниже участка 2Т до устья – «чрезвычайно грязные». При этом на основании показателя ERI на участке 2Т наблюдаются наихудшие значения экологического риска ($ERI=110,8$), ко-

торые соответствуют «умеренному риску», а в остальных точках опробования (Т1 и Т3) экологический риск характеризуется как низкий.

Значения MI в бассейне р. Зырянка, включая р. Быгель, изменяются от 3,2 до 17,9 при среднем значении в р. Быгель – 11,3 и в р. Зырянка – 7,3. Качество вод на участках 1В-3В и 1Z-3Z характеризуется как «чрезвычайно грязные» и только в устьевой части р. Зырянки (4Z), находящейся в зоне подпора Камского водохранилища, уровень загрязнения снижается до категории «слабо загрязненные». Качество вод в р. Зырянка и ее притоке р. Быгель по показателю ERI соответствуют низкому экологическому риску.

Классификация участков опробования по значениям показателей MI и ERI с применением кластерного анализа приведена на рис. 5.

При евклидовом расстоянии 40 выделено 3 кластера: кластер 1 (1Т, 1В, 2В, 2Z и 3Т), кластер 2 (1Z, 3Z и 4Z) и кластер 3 (2Т и 3В).

В целом, кластерный анализ подтверждает неравномерность техногенной нагрузки на водотоки по территории исследований, особенно выделяя участки наибольшего воздействия (точки 2Т и 3В).

Средние значения показателя MI в первом и третьем кластере составили 8,5 и 14,9 соответственно (категория «чрезвычайно грязные»), во втором – 5,9 («грязные»). Усредненное значение показателя ERI во всех кластерах соответствовало низкому экологическому риску, при этом достигая в кластере 3 значения 107,7 (при пороговом 110).

Таксономическая структура зообентоса

Бассейн р. Толыч. В условиях сбросов сточных вод в верхней части бассейна р. Толыч от предприятий энергетического профиля и цветной металлургии и в нижней части от предприятия химической отрасли зафиксирована изменчивость в распределении по численности и биомассе донных бес позвоночных от 452 экз./м² до 5812 экз./м² и 0,14 г/м² до 9,78 г/м², соответственно (рис. 6).

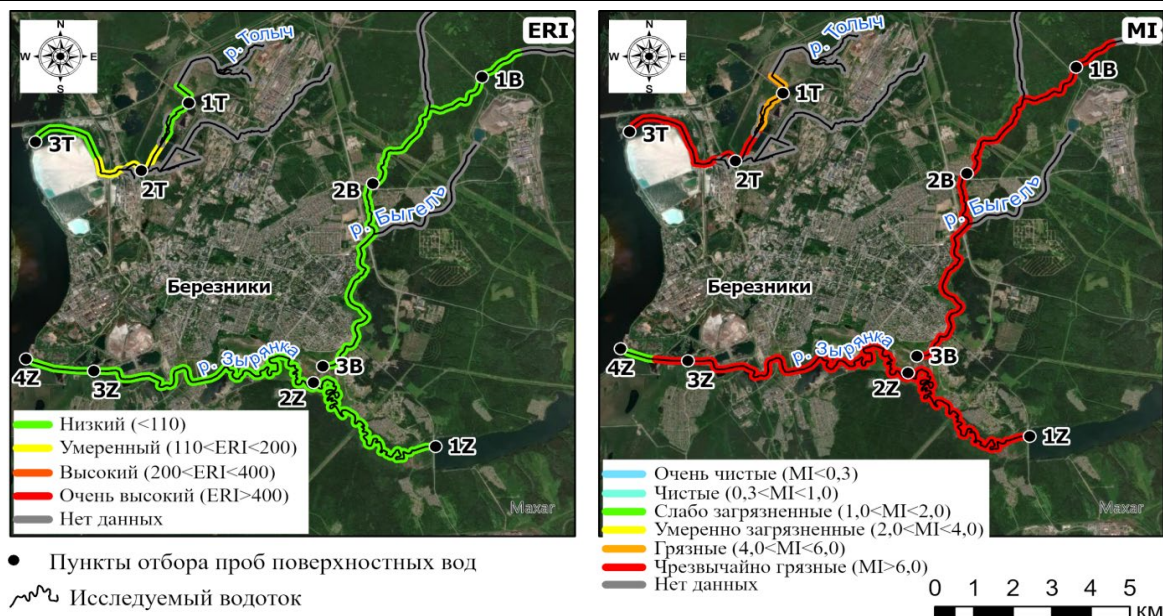


Рис. 4. Классификация качества вод исследуемых рек по показателям MI и ERI

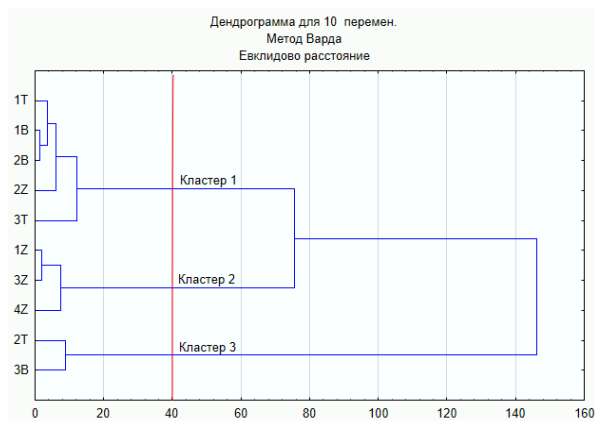


Рис. 5. Дендрограмма, показывающая кластеризацию водных объектов на основе показателей MI и ERI

Донная фауна р. Толыч в точке опробования ТВ1 представлена олигохетами, равноногими ракообразными и насекомыми: веснянками из семейства Perlodidae, поденками семейства Baetidae, вислокрылками семейства Sialidae, двукрылыми семейства Chironomidae. Биомасса зообентоса составила $2,59 \text{ г/м}^2$, численность – 1497 экз./м^2 .

В пробе зообентоса из р. Толыч после сброса БСЗ в точке опробования ТВ2 присутствовали олигохеты и двукрылые: стрекозы семейства Coenagrionidae, и двукрылые семейства Chironomidae. Биомасса зообентоса составила $0,14 \text{ г/м}^2$, численность – 452 экз./м^2 .

Бентофауна р. Толыч в приустьевой части в точке опробования ТВ3 включает в себя

олигохеты, двустворчатых моллюсков семейства Sphaeriidae, брюхоногих моллюсков семейств Bithyniidae, Lymnaeidae и Planorbidae, равноногих ракообразных и насекомых: поденок семейства Caenidae, стрекоз семейства Coenagrionidae, ручейников семейств Ecnomidae и Polycentropodidae, жуков семейства Haliplidae, двукрылых семейств Ceratorogonidae, Chironomidae, Tabanidae. Биомасса зообентоса составила $9,78 \text{ г/м}^2$, численность – 5812 экз./м^2 . Видовое доминирование Oligochaeta и Chironomidae среди бентосных макробеспозвоночных свидетельствует о вариации степени загрязнения вод в бассейне р. Толыч от сильного до среднего. По данным дистанционного зондирования, в пределах акватории р. Толыч расположены шламохранилища как в среднем течении, так и в нижнем течении реки, которое также оказывает влияние на качество вод.

Бассейн р. Зырянки. В бентофауне р. Зырянки ниже Верхне-Зырянского водохранилища в точке опробования ZB1 зарегистрировано 18 видов и форм из 5 классов: малощетинковые черви, пиявки, двустворчатые и брюхоногие моллюски и насекомые. Среди насекомых отмечены подёнки, ручейники и двукрылые, из последних – атерициды, мошки, комары-долгоножки и комары-звонцы.

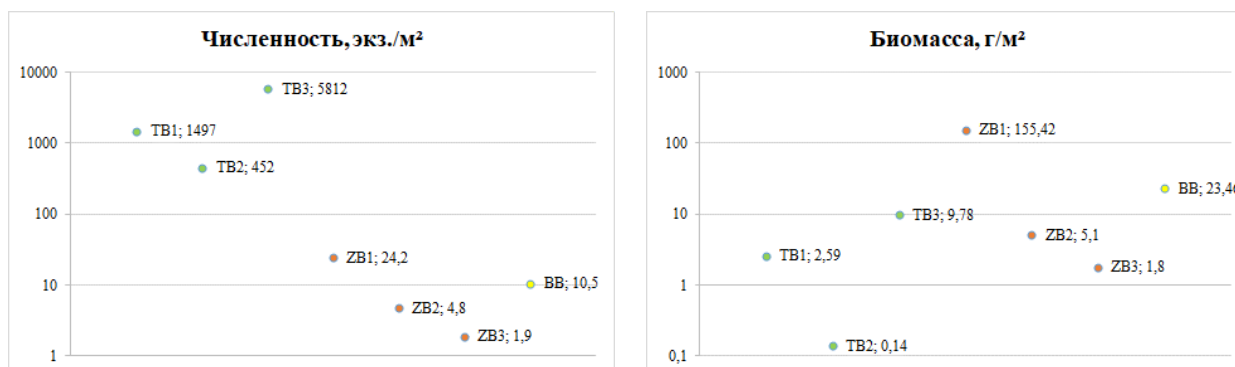


Рис. 6. Количественные и качественные показатели макрозообентоса

Наряду с собственно речными формами – ручейниками *Hydropsyche contubernalis* McLachlan и *Hydroptila* sp., атерицидами *Atherix ibis* (F.), мошками – здесь встречаются лимнофильные и эврибионтные виды – олигохеты *Chaetogaster diastrophus* (Gruith) *Stylaria lacustris* (L.), *Psammoryctides albicola* (Michaelsen), пиявки *Helobdella stagnalis* (L.), рачки *Asellus aquaticus* (L.).

Биомасса зообентоса составила 155,42 г/м² при численности около 24,2 тыс. экз./м². Ключевую роль здесь играли моллюски *Sphaerium corneum* (L.) *Sphaerium nucleus* (Studer) и ракообразные *Asellus aquaticus* (L.), достаточно велико количество пиявки *Helobdella stagnalis* (L.) и мошек. Большое количество оксифильных форм, высокое разнообразие бентофауны свидетельствуют о хорошем состоянии экосистемы на этом участке р. Зырянки.

В точке опробования ZB2 ниже Нижнезырянского водохранилища отмечено 16 видов и форм донных беспозвоночных, в том числе 6 видов хирономид, 4 вида олигохет, 2 вида подёнок и по 1 виду брюхоногих и двусторчатых моллюсков, жуков, бабочек, мокрецов и сциомизид.

Биомасса донных животных составляла 5,1 г/м² при численности 4,8 тыс. экз./м². Основу биомассы слагали личинки комаров-звонцов (60%), малощетинковые черви (19%), подёнки (8%) и брюхоногие моллюски (7%). По численности лидировали хирономиды (73%) и олигохеты (19%). В донных сообществах доминировали пелофильные хирономиды *Isocladius* gr. *sylvestris* и *Polypedilum nubeculosum* (Meigen) и олигохеты *Lumbriculus variegatus* (Muller).

В устьевой части р. Зырянки (точка опробования ZB3) зафиксировано 17 видов и форм донных беспозвоночных, в том числе 7 видов хирономид, 4 вида олигохет, 3 вида жуков, по 2 вида брюхоногих моллюсков, мокрецов и сциомизид и 1 вид подёнок.

Бассейн р. Быгель. В устьевой части р. Быгель зарегистрировано 13 видов, представителей двух классов: *Oligochaeta* – малощетинковые черви и *Insecta* – насекомые. Среди насекомых отмечены *Trichoptera* – ручейники, *Coleoptera* – жуки, *Megaloptera* – большешкрылые, *Ceratopogonidae* – мокрецы, *Pediciidae* – педицииды, *Psychodidae* – бабочницы и *Chironomidae* – комары-звонцы. Наибольшее число видов (5) насчитывали хирономиды, олигохеты были представлены двумя видами, остальные группы зообентонтов – одним видом каждая. Все отмеченные виды типичны для самых малых рек европейской части России.

Биомасса зообентоса составила 23,46 г/м² при численности около 10,5 тыс. экз./м². Основу биомассы донных сообществ обеспечивали своим развитием виды комаров-звонцов *Procladius olivacea* (Meigen), *Procladius culiciformis* (Linnaeus) и *Micropsectra atrofasciata* (Kieffer). Высокие количественные показатели зообентоса указывают на поступление в реку избыточного количества органического вещества.

Общее количество зообентоса незначительно отличалось от вышележащего участка. Биомасса донных животных составляла 1,8 г/м² при численности 1,9 тыс. экз./м². Основу биомассы слагали брюхоногие моллюски (82%), малощетинковые черви (7%), хи-

рономиды (6%). По численности преобладали хириномиды (50%) и олигохеты (29%).

В донных сообществах доминировали широко распространенные эврибионтные брюхоногие моллюски *Valvata ambigua* Westerlund, создававшие 74% общей биомассы зообентоса. Величины индексов видового разнообразия бентоса на этом участке реки принимали средние значения.

Учет биотических показателей в настоящем исследовании согласуется с результатами исследований (Kownacki, 2022), указывающих на то, что Tubificidae (Oligochaeta) и Chironomidae (Diptera) являются индикаторами загрязнения пресных вод. Текущее исследование подтверждает, что использование зообентоса в качестве биоиндикаторной группы для оценки качества речных вод является важной частью системы мониторинга водных экосистем.

Заключение

Апробация геохимических, экотоксикологических и биоиндикаторных подходов дает обширную оценку экологического состояния водных экосистем, что подтверждено в текущем исследовании. Одновременное использование различных классификаций и индексов позволяет более точно оценить загрязнение. Комплексование нескольких интегральных показателей в сочетании с оценкой распределения зообентоса в водных объектах является важной частью системы мониторинга водных экосистем.

Использование зообентоса в качестве биоиндикаторной группы в исследуемых водоемах подтверждает вывод о влиянии урбанизации на качество вод на основании доминирования представителей Oligochaeta и Chironomidae в рр. Толыч, Зырянка и Быгель. Данное исследование показывает, что макрозообентос чувствителен к загрязнению вод на территории Березниковского городского округа и должен включаться в мониторинг водных экосистем с использованием таксономической структуры и количественных параметров донных животных в дополнении к абиотическим показателям.

Исследования проведены при поддержке гранта Президента РФ № МК-4377.2022.1.5.

Библиографический список

Белкин П.А. Химический состав родникового стока в районе складирования отходов разработки и обогащения калийных солей // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 3. С. 232–240.

Говоркова Л.К., Анохина О.К. Качество водной среды обитания гидробионтов в зоне действия теплоэлектростанции // Энергетические системы. 2020. № 1. С. 153–165.

Зиновьев Е.А., Двинских С.А., Китаев А.Б. Характеристика современного состояния водной экосистемы верхней части Камского водохранилища // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28. № 1. С. 50–63.

Клёцкина О.В., Красильников П.А., Татаркин А.В. Гидрогеохимическая оценка состояния поверхностных вод и выделение зоны влияния объекта размещения отходов в пределах Кирово-Чепецкого промышленного комплекса // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 2. С. 180–189.

Копылов И.С. Формирование микроэлементного состава и гидрогеохимических аномальных зон в подземных водах Камского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. Т. 3. № 24. С. 30–47.

Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Мельник К.С. Оценка влияния урбанизации на годовой сток и качество вод в мире и на континентах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 3. С. 470–480.

Лепихин А.П., Возняк А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Исследование особенностей формирования и масштабов диффузного загрязнения, сформированного крупными промышленными комплексами, на примере Соликамско-Березниковского промузла // Водные ресурсы. 2020, Т. 47, № 5. С. 560–566.

Меньшикова Е.А. Трансформация аллювиальных отложений малых рек в условиях сброса сточных вод // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 66–69.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Abdel-Satar A.M., Ali M.H. Goher M.E. Indices of Water Quality and Metal Pollution of Nile River. Egypt // Egyptian Journal of Aquatic Research. 2017. 43, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.12.006>

Fu C., Guo J., Pan J. and et al. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in

Sediments of the Yangtze River Within the Wanzhou Section, China // *Biol Trace Elem Res.* 2009. 129, 270–277.

Khayrulina E., Mitrakova N., Poroshina N., Menshikova E., Perminova A. Formation of Solonchak in the Area of the Discharged Ancient Brine Wells (Perm Krai, Russia) // *Front. Environ. Sci.* 2022. 10:858742.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.858742>

Kownacki A., Szarek-Gwiazda E. The Impact of Pollution on Diversity and Density of Benthic Macroinvertebrates in Mountain and Upland Rivers. *Water* 2022, 14, 1349. <https://doi.org/10.3390/w14091349>

Li Y.K., Liu F., Zhou X.J., Wang X., Liu Q.C., Zhu P.F., Zhang L.C., & Sun C.Y. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments in Chinese collapsed lakes. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2017. 26, 181–189

Maskooni E.K., Naseri-Rad M., Berndtsson R., Nakagawa K. Use of Heavy Metal Content and Modified Water Quality Index to Assess Groundwater Quality in a Semiarid Area. *Water.* 2020. 12,1115.

Sharmin S., Mia J., Miah M.S., Zakir H.M. Hydrogeochemistry and heavy metal contamination in groundwaters of Dhaka metropolitan city, Bangladesh: assessment of human health impact, *HydroResearch* 3. 2020. 106–117

Tamasi G., Cini R. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata. Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena. *Sci. Total Environ.* 2004. 327, 41–51

Ushakova E., Menshikova E., Karavaeva T., Puzik A. Trace element distribution in the snow cover of different functional zones in Berezniki-Solikamsk industrial hub, Russia // *Journal of Ecological Engineering.* 2021. T. 22. № 10. C. 28–39.

Yu L., Zhang F., Zang K., He L., Wan F., Liu H., Zhang X. and Shi Z. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Cultivated Land Based on Soil Geochemical Zoning: Yishui County, North China Case Study. *Water.* 2021. 13. 3322

Zakir H.M., Sharmin S., Akter A., & Rahman M.S. Assessment of health risk of heavy metals and water quality indices for irrigation and drinking suitability of waters: a case study of Jamalpur Sadar area, Bangladesh. *Environmental Advances.* 2020. 2. 10000.

Ecological-Geochemical and Bioindication Assessment of the Small Rivers Pollution at the City of Berezniki

E.S. Ushakova, P.A. Belkin, M.A. Baklanov, E.V. Drobinina, A.Yu. Puzik

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: pashabelkin@mail.ru

This paper presents an assessment of the state of the rivers Tolych, Zyryanka and Bygel, flowing within the area with a high technogenic impact (Berezniki, Perm krai). Water quality was evaluated using the integrated geochemical parameters. The characteristics of the macrozoobenthos have been studied as a bioindicator of the ecological state of the reservoir. The formation of the trace element composition and, consequently, water quality is associated with both natural and anthropogenic factors. The obtained metal pollution index (MI) demonstrates the unsuitability of water from rivers Tolych, Zyryanka, and Bygel for domestic purposes.

Key words: *surface waters; small rivers; integral pollution indicators; urbanized areas; trace elements; zoobenthos.*

References

Belkin P.A. 2020. Khimicheskiy sostav rodnikovogo stoka v rayone skladirovaniya othodov razrabotki i obogashcheniya kaliynykh soley [Chemical composition of spring discharge in the area of mining waste storage and potassium salt enrichment]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 19(3):232-240. doi: 10.17072/psu.geol.19.3.232 (in Russian)

Govorkova L.K., Anokhina O.K. 2020. Kachestvo vodnoy sredy obitaniya gidrobiontov v zone deystviya teploelectrostantsii [Quality of hydrobiontic aquatic habitat in the territory of the thermal

power plant]. *Energeticheskie sistemy*, 1:153-165 (in Russian).

Zinoviev E.A., Dvinskikh S.A., Kitaev A.B. 2018. Kharakteristika sovremennogo sostoyaniya vodnoy ekosistemy verkhney chasti Kamskogo vodokhranilishcha [Aquatic ecosystem current state characteristics at the upper part of the Kama Reservoir]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 28(1):50-63 (in Russian).

Kletschina O.V., Krasilnikov P.A., Tatarkin A.V. 2022. Gidrogeokhimicheskaya otsenka sostoyaniya poverkhnostnykh vod i vydelenie zony vliyaniya obyektu razmeshcheniya otkhodov v predelakh Kirovo-Chepetskogo promyshlennogo kompleksa [Hydrogeochemical assessment of the surface water

conditions and delineation of the impact zone of a waste disposal site within the Kirovo-Chepetsk industrial complex]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 21(2):180-189. doi: 10.17072//psu.geol.21.2.180 (in Russian)

Kopylov I.S. 2014. Formirovanie mikroelementnogo sostava i gidrogeokhimicheskikh anomalnykh zon v podzemnykh vodakh Kamskogo Priuralya [Formation of microelement composition and hydrogeochemical anomalous zones of groundwater of the Kama PreUrals Region]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 3(24):30-47. (in Russian)

Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaytseva I. S., Melnik K.S. 2020. Otsenka vliyaniya urbanizatsii na godovoy stok i kachestvo vod v mire i na kontinentakh [The assesment of the urbanization impact on annual runoff and water quality in the world and on the continents]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 86(3):470-480 (in Russian).

Lepikhin A.P., Voznyak A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N., Lyakhin YU.S., Bogomolov A.V. 2020. Issledovanie osobennostey formirovaniya i masshtabov diffuznogo zagryazneniya, sformirovannogo krupnymi promyshlennymi kompleksami, na primere Solikamsko-Bereznikovskogo promuzla [The assesment of formation and scale of diffuse pollution formed by large industrial complexes, on the example of Solikamsk-Berezniki industrial area]. *Vodnye resursy*. 47(5):560-566 (in Russian).

Menshikova E.A. 2016. Transformatsiya allyuvialnykh otlozheniy malykh rek v usloviyakh sbrosa stochnykh vod [Transformation of alluvial sediments of small rivers under conditions of wastewater discharge]. *In: Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*, 16:66-69 (in Russian).

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. 1992. Gidrometeoizdat, SPb, p. 318 (in Russian).

Abdel-Satar A.M., Ali M.H. Goher M.E. 2017. Indices of Water Quality and Metal Pollution of Nile River. Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 43:21-29. doi:10.1016/j.ejar.2016.12.006.

Fu C., Guo J., Pan J. et al. 2009. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in

Sediments of the Yangtze River Within the Wanzhou Section, China *Biol Trace Elem Res*. 129:270-277.

Khayrulina E., Mitrakova N., Poroshina N., Menshikova E., Perminova A. 2022. Formation of Solonchak in the Area of the Discharged Ancient Brine Wells (Perm Krai, Russia). *Front. Environ. Sci.*, 10:858742. doi:10.3389/fenvs.2022.858742.

Kownacki A.; Szarek-Gwiazda E. 2022. The Impact of Pollution on Diversity and Density of Benthic Macroinvertebrates in Mountain and Upland Rivers. *Water*. 14, 1349. doi:10.3390/w14091349.

Li Y.K., Liu F., Zhou X.J., Wang X., Liu Q.C., Zhu P.F., Zhang L.C., Sun C.Y. 2017. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments in Chinese collapsed lakes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26:181-189.

Maskooni E.K., Naseri-Rad M., Berndtsson R., Nakagawa K. 2020. Use of Heavy Metal Content and Modified Water Quality Index to Assess Groundwater Quality in a Semiarid Area. *Water*, 12,1115.

Sharmin S., Mia J., Miah M.S., Zakir H.M. 2020. Hydrogeochemistry and heavy metal contamination in groundwaters of Dhaka metropolitan city, Bangladesh: assessment of human health impact. *Hydro-Research*, 3:106-117.

Tamasi G., Cini R. 2004. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata. Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena. *Sci. Total Environ*. 327:41-51.

Ushakova E., Menshikova E., Karavaeva T., Puzik A. 2021. Trace element distribution in the snow cover of different functional zones in Berezniki-Solikamsk industrial hub, Russia. *Journal of Ecological Engineering*. 22(10):28-39.

Yu L., Zhang F., Zang K., He L., Wan F., Liu H., Zhang X., Shi Z. 2021. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Cultivated Land Based on Soil Geochemical Zoning: Yishui County, North China Case Study. *Water*. 13:3322.

Zakir H.M., Sharmin S., Akter A., & Rahman M.S. 2020. Assessment of health risk of heavy metals and water quality indices for irrigation and drinking suitability of waters: a case study of Jamalpur Sadar area, Bangladesh. *Environmental Advances*. 2:10000.