

Научная статья

УДК 556.53; 550.461; 543.3

doi: 10.17223/25421379/34/11

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК ЛЕСОСТЕПНОГО ПРИИШИМЬЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КИТЕРНЯ)



Наталья Сергеевна Ларина¹, Сергей Иванович Ларин², Юлия Олеговна Белоусова³,
Полина Алексеевна Шуплецова⁴, Елена Валерьевна Устинова⁵

^{1, 3, 4} Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

^{2, 5} Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

⁵ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹ nslarina@yandex.ru

² silarin@yandex.ru

³ belousova1485@gmail.com

⁴ polina.a.shupletsova@gmail.com

⁵ sciensec@ikz.ru

Аннотация. Проведен комплексный мониторинг р. Китерня (левого притока р. Ишим), изучены эколого-геохимические особенности реки. Отмечено значительное ухудшение качества вод за последние 30 лет, вызванное климатическими изменениями и антропогенной нагрузкой. Выявлено увеличение общей минерализации воды более чем в 2 раза, отмечен значительный рост содержания биогенных элементов, превышение ПДК фосфат-ионов и марганца, точечное превышение ПДК железа, меди и никеля. В донных отложениях наблюдается превышение ПДК кадмия, точно – никеля и цинка.

Ключевые слова: гидрохимия, малые реки, Приишимье, качество воды, донные отложения, взвешенные вещества, антропогенное воздействие, климатические факторы

Благодарности: исследование выполнено в рамках госзадания № FWRZ-2021-0012 с использованием оборудования ЦКП ТюмГУ.

Для цитирования: Ларина Н.С., Ларин С.И., Белоусова Ю.О., Шуплецова П.А., Устинова Е.В. Эколого-геохимическая оценка состояния малых рек лесостепного Приишимья (на примере реки Китерня) // Геосферные исследования. 2025. № 1. С. 152–170. doi: 10.17223/25421379/34/11

Original article

doi: 10.17223/25421379/34/11

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE FOREST-STEPPE PRIISHIMYE SMALL RIVERS STATE (THE EXAMPLE OF THE KITERNYA RIVER)

Natalia S. Larina¹, Sergei I. Larin², Yulia O. Belousova³, Polina A. Shupletsova⁴, Elena V. Ustinova⁵

^{1, 3, 4} Tyumen State University, Tyumen, Russia

^{2, 5} Institute of the Earth's Cryosphere, Tyumen Scientific Center SB RAS, Tyumen, Russia

⁵ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

¹ nslarina@yandex.ru;

² silarin@yandex.ru

³ belousova1485@gmail.com

⁴ polina.a.shupletsova@gmail.com;

⁵ sciensec@ikz.ru

Abstract. The ecological and geochemical features of the river were studied during the comprehensive monitoring of the Kiternya River conditions - the left tributary of the Ishim River in the forest-steppe zone of the Tyumen region. Samples were taken near settlements located on the coast of river. Changes in water quality may be associated with changes in climatic conditions, as well as anthropogenic activities. The construction of dams on the river, the erosion of roads, runoff from agricultural fields and livestock farms negatively affect the water quality in the river. It has led to a deterioration in the quality of water in the river over the past 30 years. From 1991 an increase in the total mineralization of water has been revealed by more than 2 times, mainly due to an increase in the content of sodium and chlorine ions. Also, there was a significant increase in the content of biogenic elements, an excess of the MAC of phosphate ions and manganese, a rare excess of the iron and copper MAC, nickel exceeded the MAC when considering the contribution of suspended matter. The study of the elements content distribution was carried out in the system

"water-suspended matter-bottom sediments". Most of the pollutants migrate in suspended state, that must be taken into account when preserving samples and conducting analysis. Several methods for determining pollutants were carried out after water filtration, and some without removing suspended solids. In addition, the use of acids for the preservation of waters leads to the transition of the acid-soluble compounds parts into the aqueous phase and to a significant increase of their concentration. The determination of metals in dissolved form and in suspended matter allows us to obtain more reliable information about the forms of such elements finding and migration. In the bottom sediments, the MAC of nickel and zinc was exceeded periodically; cadmium exceeded the established norm in all samples. The cluster analysis revealed the relationship of acid-base and redox conditions in the watercourse with morphological and hydrological factors. Moreover, it was revealed the migration of heavy metals in the river mainly in the form of hardly soluble phosphates (Cu, Hg, Fe) in the composition of suspended matter, or in the form of complex compounds with hemic substances (in water) or plant residues (suspended matter and bottom sediments). Comparison of the metals determination results in the composition of sediments, suspended matter and dissolved form allowed to establish the sources of pollutants, the ways and forms of their migration and accumulation in small rivers. The places of greatest vulnerability were identified for taking measures to protect and restore water bodies.

Keywords: hydrochemistry, small rivers, water quality, bottom sediments, suspended solids, anthropogenic impact

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of the state task № FWRZ-2021-0012 on the equipment of the Tyumen State University Center.

For citation: Larina N.S., Larin S.I., Belousova Yu.O., Shupletsova P.A., Ustinova E.V. (2025) Ecological and geochemical assessment of the forest-steppe Priishimye small rivers state (the example of the Kiternya River). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 1. pp. 152–170. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/34/11

Введение

Малые реки являются важным элементом природно-хозяйственной системы и во многом определяют качество вод более крупных рек, в которые они впадают [Гришанцева и др., 2019]. Воды малых рек активно используются жителями прибрежных зон и часто являются единственным источником водоснабжения населения [Моисеенко, 2019; Прожорина и др., 2018]. Высокая уязвимость малых рек к различным видам загрязнения делает актуальным системный мониторинг их химико-экологического состояния. Более того, выявление локальных экологических проблем дает возможность более эффективно их решить и не допустить отрицательного влияния на другие природные объекты [Takic et al., 2017; Кирпичникова и др., 2021; Loh et al., 2021].

Химический состав поверхностных вод обуславливается двумя факторами: природными гидроклиматическими процессами и геоморфологической обстановкой [Саликова, Уралбаева, 2016; Савичев, 2019]. Также увеличивающаяся антропогенная нагрузка на малые реки может вызывать изменение ионного состава вод, загрязнение их биогенными веществами и токсикантами [Моисеенко, 2019; Ларина и др., 2021]. Это может привести к необратимым изменениям в связи с низкой самоочищающей способностью малых рек, особенно при изменении климатических условий. Особую опасность представляет способность к биоаккумуляции тяжелых металлов, что влечет за собой проявление токсичных, канцерогенных, тератогенных и мутагенных свойств [Шарипова, 2015; Соромотин и др., 2019; Богданов и др., 2020; Omowumi Olayinka-Olagunju et al., 2021; Huang et al., 2021; Jaskula et al., 2021]. Так же остро стоит проблема эвтрофикации малых водотоков. Поступление большого

количества соединений фосфора и азота способствует продуцированию биомассы и нарушению окислительно-восстановительного баланса водоема [Кременецкая и др., 2018; Ouyuan et al., 2018].

Поверхностные воды являются многокомпонентными объектами и сложны для любого вида оценки, что делает необходимым комплексно исследовать химический состав вод, донных отложений и взвешенных частиц [Папина, 2001; Ларина и др., 2015, 2017, 2019; Савичев, 2019; Yin et al., 2018; Tian et al., 2020; Luo et al., 2021]. Донные отложения считаются основным индикатором загрязнения токсикантами, так как являются конечным звеном в цепи распределения загрязняющих веществ и источником вторичного загрязнения [Maslennikova et al., 2012; Опекунов и др., 2017; Искандарова и др., 2019; Закруткин и др., 2020].

Изменяющиеся климатические условия и возрастающая антропогенная нагрузка на малые водные объекты России, в том числе в Тюменской области, привели к ухудшению их экологического состояния, устойчивому загрязнению и трансформации местобитания флоры и фауны [Ткачев, Булатов, 2002]. С этих позиций мониторинг и оценка качества вод малых рек являются необходимыми условиями для прогнозирования динамики их состояния. В частности, одним из типичных левых притоков р. Ишим на территории Тюменской области (Ишимский и Абатский районы) является р. Китерня, которая берет начало в урочище «Отногино болото» и впадает в р. Ишим возле с. Абатское на 346 км от устья [Ресурсы поверхностных вод..., 1973]. Длина реки 101 км, площадь водосбора 1 320 км², общее падение 54,3 м, средний уклон 0,54 ‰.

Общая длина всех 26 небольших притоков реки составляет 34 км. Бассейн р. Китерня расположен в

лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины, на междуречье Вагая и Ишима. Заболоченность водосбора составляет около 10 %, облесенность – около 30 %. Первые данные по гидрологическому обследованию реки относятся к октябрю 1950 г. и июлю 1962 г. [Ресурсы поверхностных вод..., 1973]. Гидрохимические исследования в это время не проводились, отмечено, что вода в реке коричневого цвета и пригодна для питья. Позднее, в июле 1991 г. [Калинин и др., 1998], дано подробное гидрологическое описание реки и проведен химический анализ пробы воды у с. Еремина. Отмечено значительное загрязнение реки, причиной которого, по мнению авторов, являлась антропогенная деятельность – несоблюдение правил пользования водами рек, нарушение водоохранной зоны, а также строительство плотин, как правило, глухих земляных; фермы, расположенные на берегу; сток с сельскохозяйственных полей. Отдаленные последствия активного антропогенного преобразования территории в условиях меняющегося климата, приводящего к обмелению рек, могут играть существенную роль.

Поэтому целью данного исследования являлся комплексный мониторинг состояния р. Китерня, относящейся к бассейну р. Ишим на территории Тюменской области, с учетом антропогенного воздействия и климатических изменений на состав и качество вод реки.

Для этого был произведен отбор воды и донных отложений вблизи основных населенных пунктов, расположенных на побережье, определен химический состав вод, оценено качество вод с учетом основных видов токсикантов, поступающих в воду с водосборной площади, определено содержание металлов и некоторых показателей во взвешенном веществе и донных отложениях.

Объект и методы исследования

Река Китерня протекает по равнине, пересеченной отдельными плоскими гривами, чередующимися с заболоченными лощинами и западинами. Грунты суглинистые, супесчаные, торфяные. По характеру долины и русла на реке выделены 2 характерных участка [Ресурсы поверхностных вод..., 1973]. В пределах *верхнего* участка (от истока до с. Болдырево, 101–53 км) пойма сложена песчано-илистым грунтом, местами с примесью торфа, покрыта тростниково-осоковой растительностью, местами кочковатая, заболоченная (выше с. Нестерово, у с. Берендеево). По результатам полевых исследований и литературным данным [Ресурсы поверхностных вод..., 1973; Калинин и др., 1998], русло умеренно изви-

стое, неразветвленное, местами заросшее. Дно ровное, на плесах песчано-илистое, на перекатах песчаное, иногда глинистое. В пределах *нижнего* участка (от с. Болдырево до устья, 53–0 км) долина выражена не так четко, как в верхнем течении. Склоны долины слабо изрезаны балками, долинами впадающих мелких притоков (у с. Речкуново и Еремина). Пойма сложена песчаными и песчано-илистыми грунтами, местами распаханна (урочище Катково и с. Кареглазова). Затопляется пойма в годы с высоким половодьем. Русло реки умеренно извилистое, большей частью неразветвленное, лишь у с. Речкуново имеется песчаный остров, покрытый разнотравьем. Русло на плесах у берегов, а на перекатах сплошь поросло водной растительностью. Дно ровное, на перекатах песчаное, на плесах песчано-глинистое. Экспедиционные исследования, проведенные летом 2020 г., а также более ранние исследования [Калинин и др., 1998] показали, что на реке отсутствуют предприятия, которые могли бы поставлять сточные воды в реку. Антропогенное воздействие выражается преимущественно в том, что река перекрыта земляными плотинами без слива (деревни Речка, Невалина (стационарное водохранилище), Тимохина, Еремина, Кареглазова, вблизи Абатска) и капитальными плотинами (сёла Прокуткино, Берендеева, ниже с. Болдырева (пруд)). Ниже плотин течения практически нет, вода мутная, коричневого цвета. У д. Болдырево в русле построена бетонная плотина с 6 шлюзами, произведено спрямление русла. Течение появляется через 500 м ниже плотины в ее естественном русле. Река зарастает с обоих берегов ивовой, осокой. Другим видом рассеянных источников антропогенного воздействия на реку является сельскохозяйственная деятельность: у д. Болдырева расположена ферма, стоки которой сбрасываются в реку, к самой реке подходит пастбище, пойма вытоптана, у сёл Берендеева, Сысоева расположены фермы, ниже с. Шипунова – разрушенная старая ферма. На реке имеется 4 стационарных и много временных прудов, которые перехватывают меженный сток.

Гидрологические расчеты показали [Калинин и др., 1998], что потери годового стока на малых реках исследуемого района за счёт водохранилищ могут достигать 5%. Расход воды в 1991 г. в 600 м ниже плотины в д. Болдырево составлял $Q = 0,034 \text{ м}^3/\text{с}$ (342 л/с), $V_{\text{ср}} = 0,06 \text{ м/с}$, $V_{\text{мах}} = 0,15 \text{ м/с}$ [Калинин и др., 1998].

В 1991 г. была отобрана проба воды в 200 м ниже глухой земляной плотины [Калинин и др., 1998]. Было установлено, что вода гидрокарбонатно-кальциевого типа с большим содержанием хлорид-ионов и ионов натрия. Коричневый цвет связан с наличием органических и биогенных веществ, которое авторы

связывают со стоками с ферм, поступающими непосредственно в водоток. Содержание ионов аммония превышает ПДК в 4 раза, фосфора – в 4 раза, железа –

в 3,5 раза. Отмечено наличие хлорорганических пестицидов. Количество взвешенных веществ составило 2,1 ПДК [Перечень..., 1995].

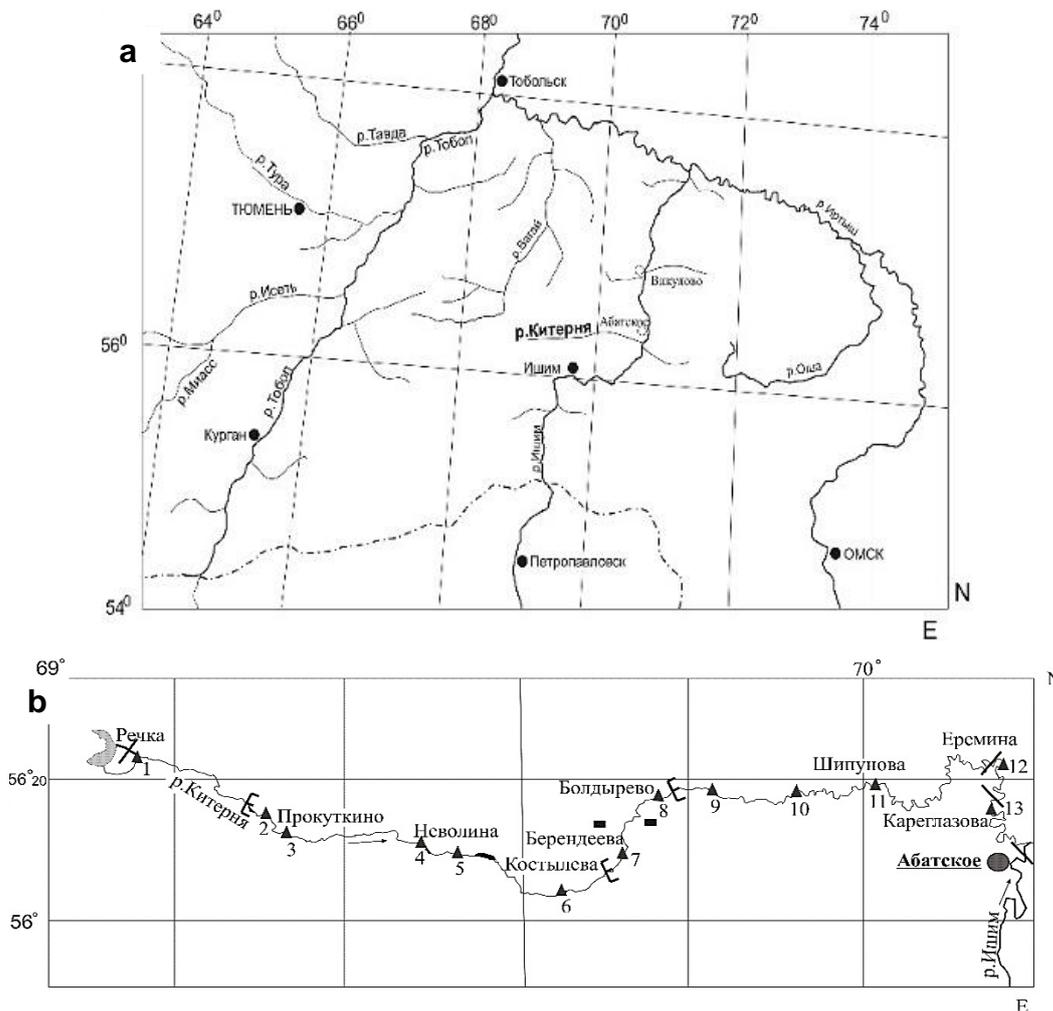


Рис. 1. Положение объекта исследования (а) и места отбора проб воды и донных отложений (б) на р. Китерня и ее притоках

▲ – место отбора проб; E – бетонная плотина; \ – земляная плотина; ■ – ферма

Fig. 1. Location of the object of study (a) and sampling sites for water and bottom sediments (b) on the Kiternya River and its tributaries

▲ – sampling site; E – concrete dam; \ – earthen dam; ■ – farm

По данным 2020 г., уровень воды в реке значительно снижен, местами наблюдалось практически полное пересыхание (т. 1) или заболачивание, практически по всей протяженности реки зарастание по бортам реки осокой и тростником, вода затянута ряской. В последующие три года эта тенденция только усиливалась.

Для исследования динамики изменения химического состава и качества вод по течению реки в июле-августе 2020 г. пробы воды и донных отложений от-

бирались вблизи основных населенных пунктов, расположенных на берегах реки (см. рис. 1), в соответствии с ГОСТ 31861-2012; РД 52.24.353-2012. Анализ проб проводился в соответствии с нормативными документами и рекомендациями [Ларина и др., 2010; Алешина и др., 2011].

Отобранные пробы воды фильтровались через беззольный фильтр «синяя лента». В фильтрате определяли основные интегральные геохимические показатели (рН, удельную электропроводность (УЭП),

жесткость), главные ионы и биогенные элементы (методом капиллярного электрофореза), органическое вещество (гравиметрия, титриметрия, элементный анализ). Содержание металлов (Mn, Cu, Ni, Zn) в воде определялось методом атомно-эмиссионной спектроскопии, железо – фотометрически. Осадок на фильтрах доводился до постоянной массы при температуре 105 °С, озонился при температуре 550 °С для определения потерь при прокаливании (ППП), растворялся в 10 %-ной азотной кислоте. Аналогично обрабатывались образцы донных отложений, которые предварительно доводились до воздушно-сухого состояния, измельчались и просеивались через сито диаметром 1 мм.

В дальнейшем кислотные вытяжки взвешенных веществ и донных отложений анализировались на содержание общего фосфора (фотометрическим методом) и ряда металлов (Cd, Cu, Mn, Fe, Ni, Cr, Mg) методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В вод-

ной вытяжке из донных отложений (1:5) были определены рН, электропроводность и ионный состав. Определение подвижных форм фосфора в донных отложениях проводилось фотометрически по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

Результаты исследований

Для оценки экологического состояния р. Китерня были определены некоторые интегральные показатели в пробах воды, донных отложений (ДО) и взвешенном веществе (ВВ), отобранных вблизи населенных пунктов (рис. 1).

Интегральные геохимические показатели. К ним можно отнести значения рН, УЭП воды и водной вытяжки из донных отложений, цветность, содержание растворенного кислорода, концентрации взвешенных веществ, результаты определения которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения интегральных показателей в точках отбора воды и донных отложений в р. Китерня

Table 1

The values of the integral indicators at the sampling site of water and bottom sediments in the Kiternya River

Номер точки отбора	Вода					Донные отложения (водная вытяжка)	
	рН	УЭП, мСм/см	Свв, мг/л	Цветность, град.	Раст, О ₂ , мг/л	рН	УЭП, мСм/см
1	8,38±0,10	1,54±0,08	9,3±1,7	52,5±5,3	4,01±0,48	7,73±0,20	1,12±0,08
2	8,51±0,10	1,48±0,07	11,6±1,4	74,5±7,5	2,19±0,26	7,43±0,20	1,15±0,08
3	8,27±0,10	1,25±0,06	8,5±1,5	75,3±7,5	5,37±0,64	7,34±0,20	1,58±0,11
4	8,34±0,10	1,54±0,08	6,2±1,1	62,6±6,3	3,44±0,41	7,59±0,20	1,52±0,11
5	8,73±0,10	1,62±0,08	8,2±1,5	60,1±6,0	7,1±0,85	7,65±0,20	0,71±0,05
6	8,3±0,10	1,52±0,08	7,7±1,4	59,2±5,9	7,04±0,84	7,30±0,20	0,43±0,03
7	8,73±0,10	1,35±0,07	5,1±0,9	24,5±4,9	10,22±1,23	7,46±0,20	1,10±0,08
8	8,52±0,10	1,32±0,07	16,0±1,7	33,0±6,6	3,70±0,44	8,26±0,20	0,11±0,01
9	8,44±0,10	1,33±0,07	9,2±1,7	28,8±5,8	8,03±0,96	8,10±0,20	0,40±0,03
10	8,44±0,10	1,29±0,06	8,0±1,4	33,0±6,6	9,22±1,11	8,11±0,20	0,23±0,03
11	8,7±0,10	1,26±0,06	15,5±1,9	58,4±5,8	7,29±0,87	7,90±0,20	0,27±0,03
12	8,2±0,10	1,25±0,06	18,4±2,2	62,6±6,3	5,72±0,69	7,95±0,20	0,31±0,02
13	8,6±0,10	1,39±0,07	5,7±1,0	56,7±5,7	9,55±1,15	7,66±0,20	0,47±0,03
Среднее значение	8,47±0,11	1,39±0,07	9,9±2,3	52,4±10,3	6,38±1,54	7,73±0,17	0,72±0,28

Значение рН в пробах воды р. Китерня варьирует от 8,2 до 8,7 и в среднем составляет 8,5±0,1, что позволяет отнести воды на протяжении всей реки к классу слабощелочных (см. табл. 1). Максимальные значения рН = 8,7 отмечены в пробах 5, 7, 11. Во всех пробах воды полученные значения рН выше, чем в р. Ишим (8,1±0,1) [Протокол лабораторных испытаний № 6267..., 2020], и значений, полученных в 1991 г. (7,8±0,2) [Калинин и др., 1998]. В водных вытяжках из донных отложений среднее значение рН

составляет 7,7±0,2, интервал изменений – от 7,3±0,2 (т. 6) до 8,3±0,2. Значения рН водной вытяжки из донных отложений во всех точках значительно ниже рН воды.

Уровень минерализации в реке, выраженный через УЭП, изменяется незначительно и в среднем составляет 1,39±0,07 мСм/см (среднее значение суммы главных ионов 1,17 г/л). Это более чем в 2 раза выше минерализации (636 мг/л), наблюдавшейся в 1991 г. [Калинин и др., 1998] и минерализации вод в

р. Ишим. Таким образом, в данный период вода реки может быть отнесена к слабосолоноватым (1–2 г/л) [Справочник по гидрохимии, 1989], что может существенно влиять на качество вод принимающей реки. В водной вытяжке ДО в верхней части реки сначала наблюдается тенденция к увеличению УЭП, в пунктах 3 (с. Прокуткино) и 4 (с. Неволлина) данный показатель достигает максимального значения, соизмеримого с электропроводностью воды, составляя 1,58 и 1,52 мСм/см соответственно. В остальных точках отбора УЭП водной вытяжки значительно ниже, чем УЭП воды. Затем по течению реки значение минерализации в пробах донных отложений уменьшается в 5 раз, возвращаясь в т. 7 (с. Берендеева) к значению УЭП у истока. При выходе на нижний участок реки (от с. Берендеево до устья) УЭП водной вытяжки ДО в среднем составляет $0,45 \pm 0,23$ мСм/см. Минимальное значение УЭП наблюдается в пруду у с. Болдырево (т. 8).

Среднее содержание *взвешенных веществ* в р. Китерня составляет $9,95 \pm 2,29$ мг/л. В пробах 12 (с. Еремина), 8 (с. Болдырево, из пруда) и 11 (ниже с. Шипунова) содержание взвешенных веществ составляет около 15 мг/л. В остальных пробах содержится от 5 до 10 мг/л взвешенных веществ, что в несколько раз ниже значения данного показателя (51 мг/л), полученного в 1991 г. [Калинин и др., 1998].

Показатель *цветности* на протяжении реки варьирует в широком диапазоне – от 25 до 75 град. цветности и в среднем составляет 52 ± 10 . Только на участке от т. 7 (с. Берендеева) до т. 10 (с. Речкуново)

цветность воды относительно невелика – 20–30 град. цветности. Все остальные пробы имеют среднюю цветность около 60 град. Во всех пробах воды р. Китерня цветность значительно выше значений, характерных для р. Ишим (5 град. цветности), следовательно, это может влиять на качество вод основной реки.

Содержание *растворенного кислорода* в р. Китерня варьирует в широком диапазоне – от 2,2 до 10,2 мг/л и в среднем составляет $6,4 \pm 1,5$ мг/л. В т. 2 (д. Нестерова) содержание кислорода находится на экстремально низком уровне (2,2 мг/л), что является недостаточным для дыхания гидробионтов и самоочищения водоема. Низкое содержание кислорода отмечено также в т. 4 (с. Неволлина) и т. 8 (с. Болдырево, пруд), где данный показатель составляет 3,4 и 3,7 мг/л соответственно. Уменьшение уровня растворенного кислорода в водоеме, по сравнению с результатами 1991 г. ($8,6 \pm 0,9$ мг/л), указывает на возможные неблагоприятные процессы, однако такое отличие может быть связано с более детальным изучением распределения показателя в 2020 г., поскольку данные 1991 г. характеризуют значение показателя только в одной точке – 7 (у с. Еремина). В 2020 г. в этой точке отбора $C(O_2 \text{ раств.})$ составила 5,7 мг/л.

Содержание главных ионов вод р. Китерня претерпевает некоторые изменения по течению реки, интервалы изменения их содержания в точках отбора проб и средние значения по реке представлены в табл. 2.

Таблица 2
Интервал изменения значений и среднее содержание главных ионов в воде р. Китерня, мг/л
(n = 13; P = 0,95)

Table 2
The interval of change of values and the average content of the main ions in the Kiternya River, mg/l
(n = 13; P = 0,95)

Катионы	Интервал изменения	Среднее значение	Анион	Интервал изменения	Среднее значение
Na ⁺	156÷305	198±24	HCO ₃ ⁻	366÷549	483 ± 32
K ⁺	3,2÷ 6,9	5,5±0,5	Cl ⁻	162÷362	221 ± 38
Ca ²⁺	70÷ 99	87±5	SO ₄ ²⁻	92÷178	126 ± 20
Mg ²⁺	41÷ 61	50±3	CO ₃ ²⁻	0 ÷ 15	2,6±2,7

В исследуемых пробах наблюдались точечные отклонения от среднего по ряду показателей. Например, в пунктах 2 (с. Нестерова) и 3 (с. Прокуткино) наблюдается снижение содержания гидрокарбонат-ионов, при этом растет концентрация сульфатов; повышенное содержание хлорид-ионов (примерно в 2 раза) отмечено в пунктах отбора 1, 4, 5; карбонат-ионы обнаружены

только в пробах 7, 8, 10 и 13 (рис. 2). В катионном составе наибольшие изменения характерны для ионов натрия, содержание которых максимально в т. 5 (д. Тимохина), где зафиксировано также максимальное значение гидрокарбонат- и хлорид-ионов, а также УЭП. Изменение остальных показателей находится в пределах погрешности метода их определения.

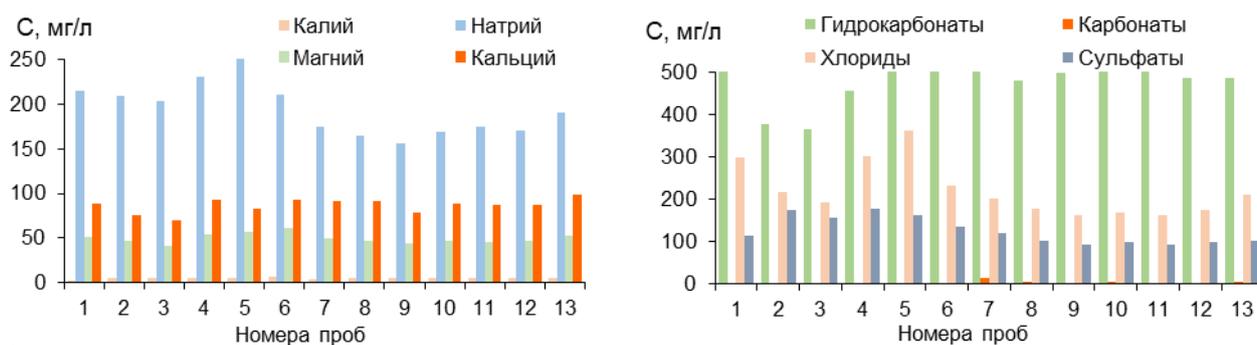


Рис. 2. Распределение содержания главных ионов по течению р. Китерня

Fig. 2. Distribution of the main ion content along the course of the Kiternya River

Поэтому при характеристике химического состава вод были взяты средние показатели по всем точкам отбора, соотношение которых представлено в виде диаграммы Толстикина на рис. 3, а. Из рисунка видно, что в анионном составе вод наблюдается незначительное

преобладание гидрокарбонат-ионов над хлорид-ионами при значительном отставании сульфат-ионов. В катионном составе ион натрия является доминирующим, ионы кальция и магния находятся в примерно эквивалентных количествах.

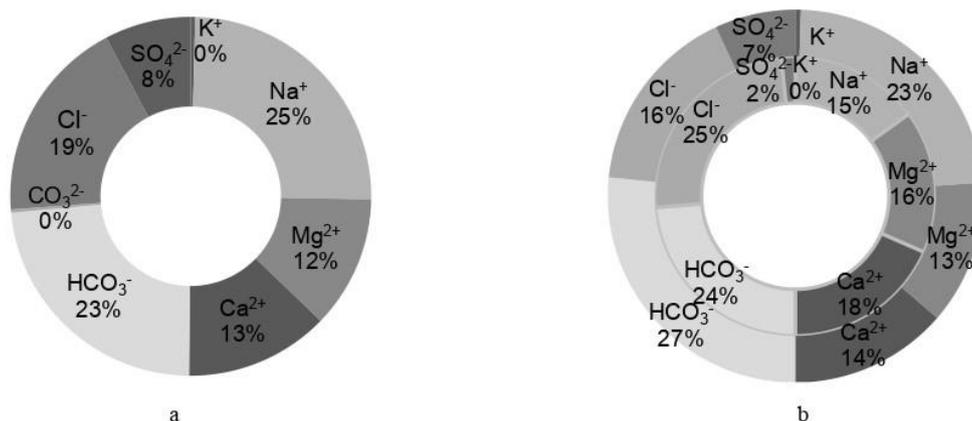


Рис. 3. Диаграмма Толстикина для проб воды р. Китерня

а – средний состав, 2020 г.; б – пробы у с. Еремина, внешний круг – 1991 г., внутренний круг – 2020 г.

Fig. 3. Diagram of Tolstikhin for water samples in the Kiternya River

а – average composition, 2020; б – vil. Eremina, outer circle – 1991 year, inner circle – 2020 year

На основании этого можно охарактеризовать средний состав воды р. Китерня (рис. 3, а) как гидрокарбонатно-хлоридный натриевый. Сопоставление данных 2020 г. (т. 12 – с. Еремина) с результатами 1991 г. [Калинин и др., 1998], полученными в этом же месте, позволяет заключить, что в 2020 г. в анионном составе увеличилась доля сульфатов, а в катионном – доля ионов натрия (рис. 3, б), при этом минерализация вод увеличилась более чем в 2 раза. Поскольку среднегодовая температура воздуха на территории Тюменской области за период наблюдений с 1950 по 2016 г. увеличилась на 2,16 °С [Глаз, Васильев, 2018], увеличение годовой суммы осадков составило 7,6 мм, а сумма

осадков в летний период сократилась на 41,2 мм, это привело к значительному снижению уровня воды в реках, особенно малых. Можно предположить, что климатические факторы являются определяющими в росте минерализации вод р. Китерня и вызвали частичную метаморфизацию их состава.

Биогенные элементы. К числу биогенных элементов обычно относят азот и фосфор. Хотя ионы калия традиционно относят к главным ионам, однако в поверхностных водах гораздо более значимым является высокий уровень их биогенного потребления [Никаноров, 2001, с. 73–74], поэтому K^+ будут также рассмотрены нами в данной группе.

Результаты определения ионов калия, аммония, нитратов и фосфатов в воде представлены в табл. 3. Нитрит-ионы в воде не были обнаружены. Во взвешенном веществе и донных отложениях определяли содержание общего фосфора (в пересчете на P_2O_5), в донных отложениях было определено содержание общего и подвижного фосфора. Максимальное содержание калия (6,9 мг/л) наблюдается в 6-й пробе (с. Костылева), минимальное (3,2 мг/л) – в т. 1 (д. Речка) и 7 (с. Берендеева). Среднее значение данного показателя составляет $5,5 \pm 0,5$ мг/л. Содержание аммония в части проб не обнаружено,

в остальных пробах среднее значение составляет $0,28 \pm 0,08$ мг/л, что значительно ниже ПДК (0,5 мг/л) [Приказ Минсельхоза России..., 2016] и его содержания (2,2 мг/л) в 1991 г. [Калинин и др., 1998]. Во всех пробах содержание нитрат-ионов значительно ниже ПДК (40 мг/л). Максимальные значения наблюдались в т. 6 и 7, где данный показатель составил около 6 мг/л. Среднее содержание нитрат-ионов в р. Китерня составило $3,73 \pm 0,77$ мг/л, что на два порядка выше, чем было обнаружено в 1991 г. ($0,02$ мг/л) в р. Ишим (менее 0,1 мг/л) [Протокол лабораторных испытаний № 6267..., 2020].

Таблица 3

Результаты определения биогенных элементов в воде, взвешенном веществе и донных отложениях р. Китерня

Table 3

The results of the determination of biogenic elements in water, suspended matter and bottom sediments in the Kiternya River

Номер точки отбора	Вода				Взвешенное вещество		Донные отложения	
	K^+ , мг/л	NH_4^+ , мг/л	NO_3^- , мг/л	PO_4^{3-} , мг/л	PO_4^{3-} , мг/л	$P_2O_{5общ.}$, мг/кг	$P_2O_{5общ.}$, мг/кг	$P_2O_{5подв.}$, мг/кг
1	$3,2 \pm 0,4$	$0,22 \pm 0,04$	$3,37 \pm 0,51$	$3,23 \pm 0,32$	$1,72 \pm 0,62$	1124 ± 225	537 ± 107	72 ± 15
2	$5,9 \pm 0,8$	$< 0,01$	$2,35 \pm 0,35$	$0,77 \pm 0,08$	$1,72 \pm 0,62$	2373 ± 475	1102 ± 220	83 ± 17
3	$5,7 \pm 0,8$	$0,26 \pm 0,05$	$3,76 \pm 0,56$	$0,52 \pm 0,05$	$0,83 \pm 0,30$	1724 ± 345	318 ± 64	56 ± 11
4	$5,6 \pm 0,8$	$0,28 \pm 0,06$	$3,74 \pm 0,56$	$1,07 \pm 0,11$	$1,41 \pm 0,51$	2188 ± 438	801 ± 160	58 ± 12
5	$6,1 \pm 0,9$	$< 0,01$	$3,50 \pm 0,53$	$1,45 \pm 0,15$	$1,50 \pm 0,54$	4293 ± 859	662 ± 132	195 ± 39
6	$6,9 \pm 0,9$	$0,29 \pm 0,06$	$6,17 \pm 0,93$	$1,56 \pm 0,16$	$0,96 \pm 0,35$	2571 ± 514	490 ± 98	171 ± 34
7	$4,3 \pm 0,6$	$< 0,01$	$6,57 \pm 0,99$	$4,37 \pm 0,4$	$0,74 \pm 0,27$	1067 ± 213	267 ± 53	7 ± 1
8	$5,2 \pm 0,7$	$< 0,01$	$3,13 \pm 0,47$	$2,44 \pm 0,24$	$2,34 \pm 0,84$	2356 ± 471	142 ± 28	95 ± 19
9	$5,5 \pm 0,8$	$< 0,01$	$3,41 \pm 0,51$	$3,02 \pm 0,30$	$1,32 \pm 0,48$	1538 ± 308	772 ± 154	160 ± 32
10	$6,0 \pm 0,8$	$0,27 \pm 0,05$	$2,42 \pm 0,48$	$2,73 \pm 0,27$	$1,67 \pm 0,60$	2080 ± 416	529 ± 106	137 ± 27
11	$5,9 \pm 0,8$	$0,35 \pm 0,07$	$3,34 \pm 0,50$	$3,09 \pm 0,31$	$1,36 \pm 0,49$	1453 ± 291	755 ± 151	195 ± 39
12	$5,9 \pm 0,8$	$0,27 \pm 0,05$	$2,80 \pm 0,56$	$2,95 \pm 0,30$	$1,41 \pm 0,51$	1750 ± 350	596 ± 119	154 ± 31
13	$4,8 \pm 0,7$	$0,29 \pm 0,06$	$3,93 \pm 0,59$	$2,34 \pm 0,23$	$2,25 \pm 0,81$	3355 ± 671	1009 ± 202	7 ± 1
Среднее значение	$5,5 \pm 0,5$	$0,28 \pm 0,08$	$3,73 \pm 0,77$	$2,27 \pm 0,61$	$1,48 \pm 0,26$	2143 ± 490	613 ± 151	106 ± 35

Соединения фосфора. Во всех пробах воды, кроме т. 3 (с. Прокуткино), наблюдается превышение ПДК по фосфат-ионам (0,6 мг/л для эвтрофных водоемов) [Приказ Минсельхоза России..., 2016], причем уровень загрязнения фосфатами растет к устью реки. По данным 1991 г., в р. Китерня также было зафиксировано превышение ПДК в 4 раза. В 2020 г. содержание фосфатов увеличилось еще в 2 раза, максимальное содержание фосфат-ионов в воде (4,4 мг/л) зафиксировано в пробе 7 (с. Берендеева). Среднее значение фосфатов в воде р. Китерня составило $2,3 \pm 0,6$ мг/л. Во взвешенном веществе максимальное содержание фосфора наблюдалось в пробах 8 (с. Болдырево) и 13 (с. Кареглазова). Средняя концентрация фосфора, мигрирующего во взвешенном веществе составила $1,5 \pm 0,3$ мг/л, т.е. основная масса фосфора содержится в реке в растворенной форме. При пересчете содержания общего фосфора на массу осадка во взвешенном

веществе его среднее содержание составило 2143 ± 490 мг/кг (в пересчете на P_2O_5), а в донных отложениях – 613 ± 151 мг/кг, т.е. почти в 4 раза меньше. Максимальное содержание фосфора в ДО наблюдается в т. 2 (с. Нестерово) и т. 13 (с. Кареглазова), минимальное – в пруду у с. Болдырево (т. 8). Среднее содержание подвижной формы фосфора в донных отложениях (106 ± 35 мг/кг) составляет около 20% от его общего содержания.

Органическое вещество. Результаты определения различных форм и общего содержания органического вещества в воде, взвешенном веществе и донных отложениях представлены в табл. 4.

Содержание общего углерода (ТС) в воде реки изменяется незначительно и в среднем составляет $46,3 \pm 2,0$ мг/л. Основная его часть содержится в неорганической форме (ТИС), доля которого возрастает от истока к устью.

Содержание органического углерода (ТОС) в основном находится на уровне 5–6 %, за исключением первых трех точек отбора, где содержание ТОС почти в 2 раза выше. На всем протяжении реки органическое вещество находится преимущественно в легкоокисляемой форме (ПО), что обычно связывают с автохтонным

характером его поступления. Среднее значение ПО в р. Китерня составляет $10,0 \pm 1,7$ мгО/л.

Общее содержание органического вещества во взвешенном веществе, выраженное через потери при прокаливании (ППП, %), изменяется в широком интервале – от 20 до 80 %.

Таблица 4

Результаты определения органического вещества в воде, взвешенном веществе и донных отложениях р. Карасуль

Table 4

The results of the determination of organic matter in water, suspended matter and bottom sediments in the Kiternya River

Номер точки отбора	Вода				Донные отложения	Взвешенное вещество
	ТС, мг/л	ТЭС, мг/л	ТОС, мг/л	ПО, мгО/л	ППП, %	ППП, %
1	52,9±7,4	40,9±8,2	12,0±2,4	13,5±1,4	4,15±0,70	80,7±6,8
2	41,0±8,2	31,1±6,2	9,9±2,0	13,7±1,4	7,12±1,20	48,1±4,0
3	38,5±7,7	30,5±6,1	8,1±1,6	13,5±1,4	3,19±0,54	44,4±3,7
4	44,2±8,8	36,9±7,4	7,3±1,5	6,3±0,6	5,99±1,01	70,8±5,9
5	49,6±9,9	45,1±9,0	4,6±0,9	7,2±0,7	2,34±0,39	23,1±1,9
6	48,4±9,7	42,0±8,4	6,4±1,3	6,3±0,6	3,40±0,57	35,7±3,0
7	47,7±9,5	42,2±8,4	5,5±1,1	6,1±0,6	1,31±0,22	76,9±6,5
8	45,5±9,1	39,2±7,8	6,3±1,3	9,5±1,0	0,81±0,14	51,4±4,3
9	46,5±9,3	40,1±8,0	6,4±1,3	9,2±0,9	3,77±0,63	65,6±5,5
10	48,1±9,6	41,9±8,4	6,2±1,2	11,9±1,2	1,12±0,19	70,0±5,9
11	47,5±9,5	43,3±8,7	4,2±1,2	11,3±1,1	4,20±0,71	45,7±3,8
12	46,0±9,2	40,1±8,0	5,8±1,2	11,7±1,2	1,41±0,24	26,7±2,2
13	45,4±9,1	42,2±8,4	3,1±0,9	9,8±1,0	1,77±0,30	76,0±6,4
Среднее значение	46,3±2,0	39,7±2,4	6,6±1,3	10,0±1,7	3,12±1,05	55,0±10,7

Среднее значение составляет $55,02 \pm 10,67$ %. Для проб донных отложений среднее значение на порядок меньше – $3,12 \pm 1,05$ %. Максимальное содержание органического вещества в донных отложениях наблюдается у истока реки.

Содержание металлов в пробах воды определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии, содержание металлов в донных отложениях и взвешенном веществе проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии в кислотных вытяжках. Хотя кислотная вытяжка не включает соединения металлов с силикатными минералами, их содержание в этой фракции невелико и вероятность их выхода в водную толщу очень низка [Ларина и др., 2004]. К числу металлов, широко распространенных в водных объектах Западной Сибири и Тюменской области, в частности, относят Fe и Mn. Распределение содержания данных элементов в воде, взвешенном веществе и донных отложениях представлено на рис. 4.

Железо в водной толще аккумулируется преимущественно в виде взвеси (рис. 4, а). Максимальное содержание растворенного железа в воде фиксиру-

ется в верхней части реки ($0,11$ – $0,13$ мг/л), что несколько превышает ПДК ($0,1$ мг/л). На нижнем участке реки содержание Fe находится на уровне $0,08$ – $0,10$ мг/л. Средняя концентрация растворенного Fe в воде составляет $0,10 \pm 0,01$ мг/л. Однако содержание Fe во взвешенном веществе на 1–2 порядка выше – от 5 (т. 6, 7) до 21 мг/л (т. 1). Среднее содержание Fe в воде – $9,6 \pm 2,3$ мг/л. В пересчете на массу взвешенного вещества среднее содержание Fe (рис. 4, b) в нем составляет около 2 %, аномально высокое содержание Fe во взвешенном веществе зафиксировано в точках 5 (4,6 %) и 1 (21 %). В донных отложениях наблюдается аналогичная тенденция (за исключением аномалий), хотя содержание Fe в них в 2–3 раза ниже, чем во взвешенном веществе. Среднее содержание Fe в ДО составляет $0,63 \pm 0,16$ %.

Марганец в растворенной форме в воде находится ниже предела обнаружения использованной методики в пробах 3, 5, 6, 11 (рис. 4, с). В остальных точках отбора его содержание в среднем составляет 21 ± 2 мкг/л, что в 2 раза превышает значение ПДК для рыбохозяйственных целей (10 мкг/л).

Мигрирует марганец, аналогично железу, преимущественно в виде взвеси (средняя концентрация $2,24 \pm 1,45$ мг/л), аномально высокое содержание Mn во

взвешенном веществе наблюдается в т. 1 (д. Речка) – $11,42$ мг/л. Содержание марганца во взвешенном веществе составляет $0,45 \pm 0,12$ % при пересчете на массу ВВ.

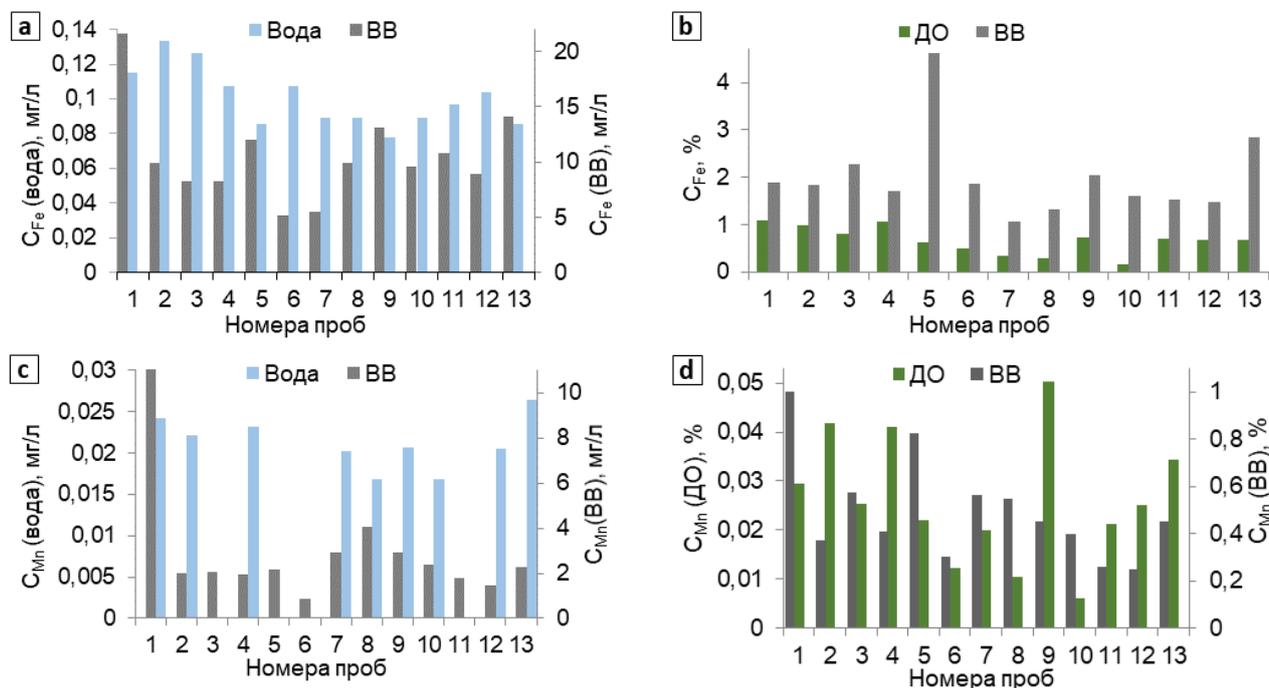


Рис. 4. Распределение содержания железа и марганца в воде и взвешенном веществе (а, с) и во взвешенном веществе (мг/кг) и донных отложениях (b, d) в реке Китерня

Fig. 4. Distribution of iron and manganese content in water and suspended matter (a, c) and in suspended matter (mg/kg) and bottom sediments (b, d) in the Kiternya River

В донных отложениях содержание Mn на порядок ниже и в среднем составляет $0,026 \pm 0,007$ % (рис. 4, d). Повышенное содержание марганца в ДО зафиксировано в точках 9 (с. Сысоева), 2 (с. Нестерова) и 4 (с. Невалина).

Содержание никеля в воде изменяется незначительно на протяжении всей реки, причем в большинстве точек его содержание в водорастворимой и твердой фазе (ВВ) соизмеримы (рис. 5, a). Среднее содержание Ni в ионной форме составляет $3,8 \pm 0,7$ мкг/л, во взвешенном веществе (ВВ) – $5,1 \pm 1,6$ мкг/л. В точках 2 (с. Нестерова), 3 (с. Прокуткино), 6 (с. Костылево), 12 (с. Еремина) содержание растворенного никеля превышает содержание данного элемента во взвешенном веществе. Точечное превышение ПДКр-х (10 мкг/л) в пробах воды наблюдается только при учете вклада взвешенного вещества в т. 1 (д. Речка), т. 9 (с. Сысоева), т. 11 (с. Шипуново), т. 13 (с. Кареглазова). Среднее содержание Ni во взвешенном веществе составляет в среднем $10,1 \pm 2,6$ мг/кг (рис. 5, b). В пробах донных отложений содержание никеля превышает его содержание во взвешенном веществе только в т. 1, 2, 3, 4, 9, причем до т. 4 включительно наблюдается обратная зависимость между содержанием металла в ДО и ВВ, а начиная с т. 5 ее характер меняется на линейный. Превышение ПДК

(20 мг/кг) [Постановление Главного государственного врача...] в пробах ДО наблюдается в точках 1 (д. Речка), 2 (с. Нестерова) и 9 (с. Сысоева), среднее содержание составляет $12,8 \pm 5,4$ мг/кг.

Медь в водной толще мигрирует преимущественно в виде взвеси (рис. 5, a). Средняя концентрация водорастворимой формы Cu составляет $5,0 \pm 3,6$ мкг/л, во взвешенном веществе – $19,0 \pm 6,4$ мкг/л. Превышение ПДК (1 мкг/л) в воде наблюдается в т. 3 (с. Прокуткино), т. 4 (с. Невалина), т. 5 (д. Тимохина), т. 6 (с. Костылева), т. 11 (с. Шипунова). Среднее содержание Cu во взвешенном веществе – $47,4 \pm 24,1$ мг/кг, в донных отложениях – $0,9 \pm 0,4$ мг/кг, т.е. превышения ПДК (33 мг/кг) в ДО не наблюдается, хотя во взвешенном веществе оно выше (рис. 5, b). Максимальное значение показателя в воде, взвешенном веществе и донных отложениях было зафиксировано в т. 5 (д. Тимохина).

До т. 4 (с. Невалина) включительно наблюдается обратная зависимость между содержанием металла в ДО и ВВ, после т. 4 зависимость обретает линейный характер вплоть до т. 10 (с. Речкунова) включительно. После т. 10 зависимость между содержанием меди в ДО и ВВ снова имеет обратный характер.

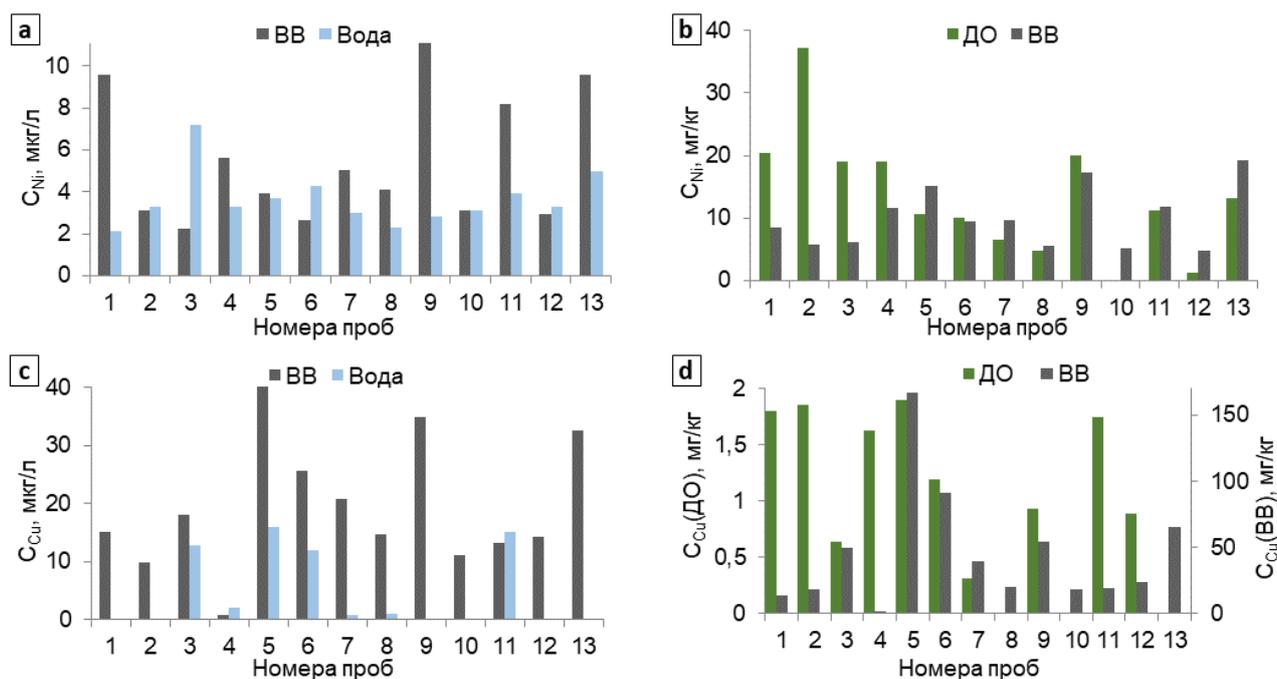


Рис. 5. Распределение содержания никеля и меди в воде и взвешенном веществе (а, с) и во взвешенном веществе (мг/кг) и донных отложениях (b, d) в реке Китерня

Fig. 5. Distribution of nickel and copper content in water and suspended matter (a, c) and in suspended matter (mg/kg) and bottom sediments (b, d) in the Katernya River

Содержание *свинца* в воде во всех точках отбора находится ниже предела обнаружения. Исключение составляет проба т. 11 (с. Шипунова), где Pb составляет 7,9 мкг/л, что превышает ПДК (6 мкг/л). Свинец аккумулирован в водной толще преимущественно во взвешенном веществе, среднее содержание Pb в котором составляет $20,4 \pm 7,8$ мкг/л, или, в пересчете на массу осадка 39 ± 13 мг/кг. В донных отложениях свинец обнаружен только в пробах 2 (с. Нестерова) и 8 (с. Болдырево) и составляет 4,32 и 1,43 мг/кг соответственно.

К числу наиболее токсичных элементов (1-й класс опасности) относят *ртуть* и *кадмий* (рис. 6). В воде *кадмий* был обнаружен только в пробе 11 (с. Шипуново) – 13,2 мкг/л, что превышает ПДК (5 мкг/л) более чем в 2 раза. Во взвешенном веществе Cd обнаружен только в пробах 11 (с. Шипуново) и 12 (с. Еремина), и его содержание составляет 0,1 и 0,3 мкг/л соответственно. В пробах донных отложений кадмий обнаружен во всех пробах (рис. 6, a), среднее содержание Cd составляет $1,0 \pm 0,4$ мг/кг, и значение ПДК (0,5 мг/кг) превышено в большинстве проб.

Среднее содержание валовой *ртути* (рис. 6, b) в донных отложениях составляет $0,036 \pm 0,007$ мг/кг, максимальное содержание наблюдается в т. 2

(с. Нестерова), установленные значения не превышают ПДК (2,1 мг/кг).

Обсуждение результатов

Полученные данные по содержанию металлов в системе «вода–взвешенное вещество–донные отложения» позволили расположить исследованные металлы в следующие ряды по распространенности:

- вода: Fe > Mn >> Cu > Ni > Cd > Pb;
- взвешенные вещества: Fe > Mn >> Pb > Ni > Cu > Cd;
- донные отложения: Fe > Mn >> Ni > Cu > Cd > Pb.

Концентрационные ряды подтверждают значительное накопление железа и марганца во всей системе, что свидетельствует о наличии региональных особенностей водотоков рассматриваемого региона, подтверждая данные других источников [Калинин и др., 1998; Ларина и др., 2010; Алешина и др., 2011; 2015, 2019, 2021; Соромотин и др., 2019; Савичев, 2019; Протокол..., 2020]. Причиной аномалии может быть поступление данных элементов за счет значительного вклада подземного питания (подземные воды региона обогащены ими), однако значительное преобладание Fe и Mn во взвешенном веществе может

свидетельствовать о его поступлении с водосборной площади, в том числе из болот, где эти металлы мигрируют и накапливаются в значительном количестве. Не исключено и влияние антропогенного фактора.

Содержание никеля можно отнести к фоновому, поскольку во всех компонентах системы на всей протяженности реки значения соизмеримы. Объяснение вариации в содержании остальных металлов и других компонентов системы потребовало дополнительной обработки полученных результатов.

Расчет коэффициентов донной аккумуляции (КДА = $\frac{C_{до}}{C_{вода}}$) для исследованных металлов, позволяющий оценить уровень и характер загрязнения водного объекта [Методика, 1992], свидетельствует, что максимальные значения (КДА > 10⁴) наблюдаются для Fe во всех точках отбора, несмотря на отсутствие значительного превышения ПДК, особенно в нижней части реки (т. 7–13). КДА не дает информации об источнике поступления элемента, а только о высоком концентрировании данного элемента в донных отложениях по сравнению с водой и характеризует состояние водного объекта в данный период.

Для Mn величина КДА также имеет высокие значения ($n \times 10^3 \div n \times 10^4$) в большинстве точек отбора (исключение – т. 3, 5, 6, 11) и сопровождается превышением ПДКр-х. Это указывает на высокий уровень хронического загрязнения водного объекта. Аналогичная ситуация наблюдается для Zn (исключение – т. 6, 10, 11) и Ni (исключение – т. 10, 12) – несмотря на высокие значения КДА, значительного превышения ПДКр-х не наблюдается. Невысокие значения КДА ($n \times 10 - n \times 10^2$) и повышенные концентрации в воде наблюдались для Cu в т. 4–7 и 11, что указывает на поступление в водный объект свежего загрязнения.

Кластеризация показателей качества вод (рис. 7, а) позволила выделить 3 основных группы показателей (рис. 7, а).

Первая группа показателей связана с общей минерализацией вод, включает большинство главных ионов (кроме Ca²⁺ и HCO₃⁻) и определяется в первую очередь содержанием Na⁺ и Cl⁻. Вторая группа показателей, с одной стороны, связана с цветностью воды, содержанием в ней органического вещества и железа, которое может находиться в воде в виде комплексов с гуминовыми и фульвокислотами, придающими цветность воде. С другой стороны, эта группа показателей связана с концентрацией взвешенных веществ в воде, как возможного источника или сопутствующих процессов их поступления в воду в растворимой форме (Ni²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, NH₄⁺, K⁺). Третья группа включает показатели, величина которых определяется кислотно-основными и окислительно-восстановительными характеристиками вод. Кластеризация вод по точкам отбора проб (рис. 7, б) четко выделяет 2 кластера – верхнюю (т. 1–7) и нижнюю (т. 8–13) части реки. Таким образом, подтверждается влияния характера долины и русла реки на формирование гидрохимического состава [Ресурсы поверхностных вод..., 1973].

Кластерный анализ исследованных показателей в донных отложениях (рис. 7, в) позволяет выделить 3 группы, в разной степени связанные между собой. Наиболее тесно с органическим веществом (ППП) оказались связаны Cr, Ni, Mg, Zn (1-й кластер). В эту же группу можно включить Fe, Mn и УЭП. Обычно поступление этих металлов связывают с болотным питанием рек, но в данном случае минерализация вод в большей степени определяет их содержание в ДО, хотя связь с органическим веществом тоже есть, но не столь очевидная.

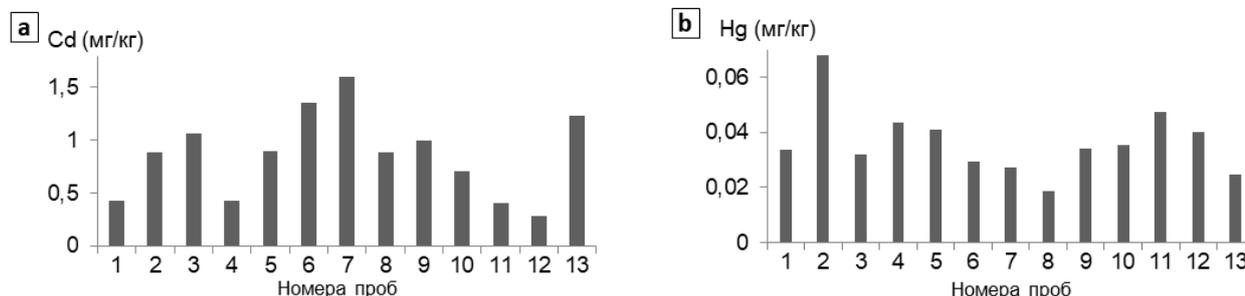


Рис. 6. Содержание кадмия (а) и ртути (б) в пробах донных отложений в р. Китерня

Fig. 6. Content of cadmium (a) and mercury (b) in samples of bottom sediments in the Kiternya River

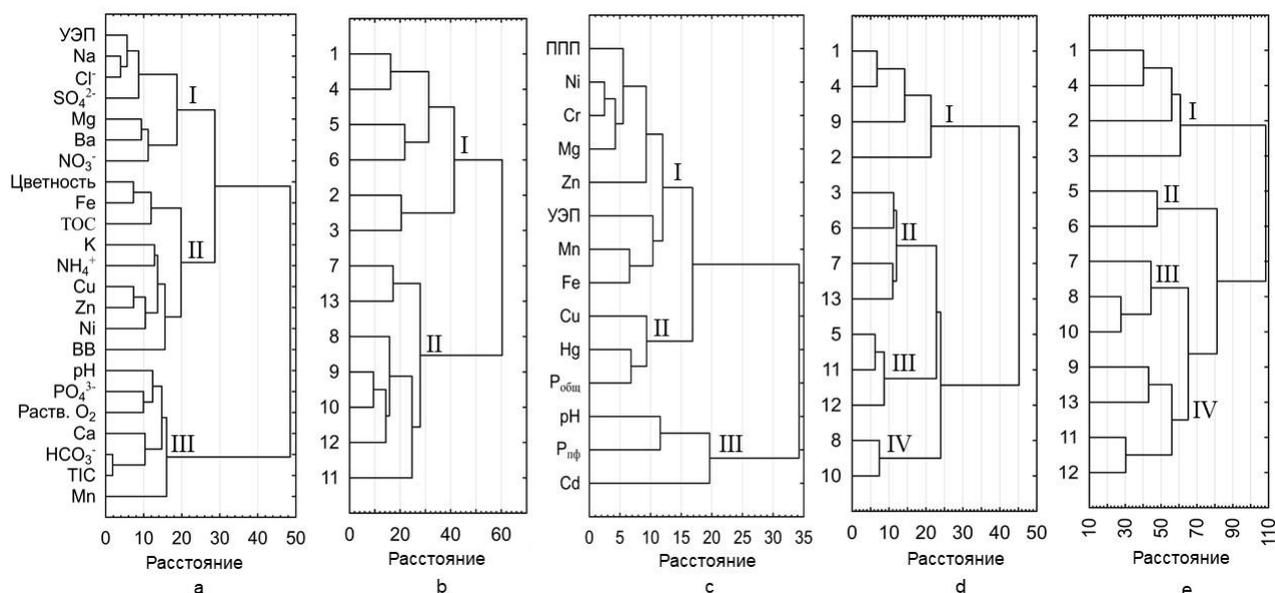


Рис. 7. Кластерный анализ по результатам определения химического состава воды (а – по определенным показателям; б – по точкам отбора) и донных отложений (с – по определяемым показателям; д – по точкам отбора); е – дендрограмма по всем определенным показателям (вода, донные отложения, взвешенное вещество) в точках отбора р. Китерня

1 – д. Речка; 2 – с. Нестерова; 3 – с. Прокуткино; 4 – с. Неволина; 5 – д. Тимохина; 6 – с. Костылева; 7 – с. Берендеева; 8 – с. Болдырево; 9 – с. Сысоева; 10 – с. Речкунова; 11 – с. Шипунова; 12 – с. Еремина; 13 – д. Кареглазова

Fig. 7. Cluster analysis based on the results of determining the chemical composition of water (a – by determined indicators; d – by sampling sites) and bottom sediments (c – by determined indicators; d – by sampling sites); e – dendrogram for all determined indicators (water, bottom sediments, suspended matters) at sampling sites in the Kiternya River

1 – vil. Rechka; 2 – vil. Nesterova; 3 – vil. Prokutkino; 4 – vil. Nevolina; 5 – vil. Timokhina; 6 – vil. Kostyleva; 7 – vil. Berendeeva; 8 – vil. Boldyrevo; 9 – vil. Sysoeva; 10 – vil. Rechkunov; 11 – vil. Shipunova; 12 – vil. Eremina; 13 – vil. Kareglazova

Второй кластер включает общее содержание Р, Нг и Си, что позволяет предположить, что данные металлы поступают в донные отложения с взвешенным веществом в форме труднорастворимых фосфатов. Особняком стоит 3-й кластер, включающий рН, подвижные Р и Сd, что свидетельствует об аномальном источнике поступления кадмия. Кластеризация донных отложений по точкам отбора (рис. 7, d) существенно отличается от кластеризации вод, скорее всего, здесь определяющим фактором являются геохимические особенности отложений, напрямую не связанные с качеством вод, а зависящие от других факторов, например, гидрологических или геологических, которые в данной работе не исследовались. Кроме этого, возможно влияние антропогенной деятельности человека, так как во 2-й кластер попали точки отбора вблизи мостов, а в 3-й – вблизи ферм.

Обобщенная дендрограмма по всем показателям (вода, взвешенное вещество, донные отложения) и всем точкам отбора представлена на рис. 7, e. Из ри-

сунка видно, что геохимическая характеристика водотока определяется в первую очередь качеством воды, но и другие компоненты системы имеют значение и оказывают влияние на формирование кластеров и, следовательно, на качество водного объекта. Основным фактором можно считать особенности долины и русла реки, которые выделяют 2 явно выраженных кластера. В верхней части реки имеется источник поступления минеральных веществ, значительно повышающих минерализацию вод. Несмотря на то что пробы 1 и 4 имеют абсолютное сходство, а 2 и 3 существенно отличаются от них как по составу воды, так и донных отложений, в итоге уровень сходства всех проб достаточно высок. Влияние данного фактора ограничено, преимущественно в т. 5 и 6, но к т. 7 качество реки стабилизируется на новом уровне и уже не претерпевает столь значительного изменения. Однако практически во всех точках отбора в нижней части реки имеются животноводческие стоки, река во многих местах подпружена плотинами и мостами.

Для комплексной оценки вклада различных факторов проведен факторный анализ методом главных компонент (табл. 5). Проанализировано 50 параметров по 13 точкам отбора образцов воды и донных отложений, что позволило выделить наиболее значимое влияние первого фактора (9,54), а если понизить достоверность до 0,5 (что допустимо для природных систем), то значимость фактора 1 существенно возрастает (15,11) и составляет 30 % объяснимой дисперсии. Этот фактор повлиял на 21 из 50 характеристик. Он характеризуется значимым ростом рН(ДО), концентрации Ca^{2+} , гидрокарбонатов, фосфатов и растворенного кислорода в воде. При этом четко выражено уменьшение концентрации органического вещества (ППП), минерализации (УЭП), общего фосфора и большинства металлов в донных отложениях, а также цветности, органического вещества и Fe в воде. Можно предположить, что накопление металлов в донных отложениях зависит от содержания органического вещества в воде и донных отложениях, от ми-

нерализации воды, кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий, которые, по сути, определяют скорость разложения органического вещества в воде и донных отложениях. Источником органического вещества может быть как водная растительность, сток с болот, так и поступление с животноводческих ферм.

Факторы 2 и 3 оказывают значимое влияние только на 12 и 8 показателей, что составляет 17 и 9 % соответственно. Второй фактор связан с ростом содержания ТОС и Mn в воде и ППП и Pb – во взвешенном веществе, что может свидетельствовать о поступлении данных металлов в водный объект с автохтонным или аллохтонным органическим веществом. Этому сопутствует уменьшение концентрации ионов K, Na Mg и Cu в воде, Fe, Cu и общего фосфора в ВВ. Невысокий процент объяснимой дисперсии связан с высокой вариабельностью геохимических параметров в реке и является косвенным подтверждением значимых различий в составе воды и донных отложений в точках отбора.

Таблица 5

Результаты факторного анализа воды, взвешенного вещества и донных отложений р. Китерня

Table 5

Results of factor analysis of water, suspended matters and bottom sediments of the Kiternya River

Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
ППП (ДО), %	-0,88	0,12	0,06	NO_3^- (вода), мг/л	0,25	-0,39	0,08
рН (ДО)	0,57	0,44	0,03	PO_4^{3-} (вода), мг/л	0,72	0,34	0,26
УЭП (ДО), мкСм/см	-0,72	0,03	0,13	Fe (вода), мг/л	-0,80	0,20	-0,30
Mn (ДО), мг/кг	-0,62	0,18	0,27	Mn (вода), мг/л	0,01	0,67	0,46
Cu (ДО), мг/кг	-0,68	-0,20	0,21	Cu (вода), мг/л	-0,14	-0,76	-0,31
Cd (ДО), мг/кг	0,21	-0,34	0,09	Ni (вода), мг/л	-0,28	-0,49	-0,55
Ni (ДО), мг/кг	-0,88	0,17	0,20	Zn (вода), мг/л	0,05	-0,26	-0,38
Cr (ДО), мг/кг	-0,90	0,24	0,13	ТЭС (вода), мг/л	0,71	-0,37	0,39
Mg (ДО), мг/кг	-0,81	0,18	0,14	ТОС (вода), мг/л	-0,59	0,52	0,19
Fe (ДО), мг/кг	-0,86	0,11	0,21	Раств. O_2 (вода), мг/л	0,69	-0,37	0,04
Zn (ДО), мг/кг	-0,68	0,33	0,10	ВВ (вода), мг/л	0,10	0,35	-0,44
Hg (ДО), мг/кг	-0,70	0,08	-0,09	PO_4^{3-} (ВВ), мг/л	0,14	0,30	0,35
$\text{P}_2\text{O}_{5\text{общ}}$ (ДО), мг/кг	-0,51	-0,08	0,19	Mn (ВВ), мг/л	-0,04	0,46	0,61
$\text{P}_2\text{O}_{5\text{н.ф.}}$ (ДО), мг/кг	0,12	-0,35	-0,23	Mn (ВВ), мг/кг	-0,09	-0,04	0,71
УЭП (вода), мкСм/см	-0,43	-0,40	0,69	Fe (ВВ), мг/л	-0,13	0,25	0,62
рН (вода)	0,29	-0,24	0,42	Fe (ВВ), мг/кг	-0,21	-0,74	0,37
Цветность (вода), °	-0,78	-0,31	-0,31	Cu (ВВ), мг/л	0,24	-0,65	0,35
K^+ (вода), мг/л	-0,09	-0,50	-0,62	Cu (ВВ), мг/кг	0,07	-0,89	0,24
Na^+ (вода), мг/л	-0,46	-0,66	0,41	Ni (ВВ), мг/л	-0,28	-0,49	-0,55
Mg^{2+} (вода), мг/л	0,00	-0,59	0,46	Ni (ВВ), мг/кг	0,06	-0,46	0,46
Ca^{2+} (вода), мг/л	0,55	-0,05	0,33	ППП (ВВ), %	0,13	0,51	0,47
NH_4^+ (вода), мг/л	-0,01	-0,12	-0,43	Pb (ВВ), мг/л	0,31	0,55	0,31
Ba^{2+} (вода), мг/л	-0,24	-0,59	0,14	Pb (ВВ), мг/кг	0,26	0,07	0,31
HCO_3^- (вода), мг/л	0,68	-0,32	0,44	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{общ}}$ (ВВ), мг/кг	-0,07	-0,69	0,24
Cl ⁻ (вода), мг/л	-0,40	-0,46	0,64	Собственные значения	9,54 (15,11)	2,05 (8,33)	1,42 (4,44)
SO_4^{2-} (вода), мг/л	-0,78	-0,31	0,07	% объяснимой дисперсии	19,9 (30,2)	4,1 (16,7)	2,8 (8,9)

Третий фактор достоверно объясняет только 9 % дисперсии и связан с ростом минерализации, Cl^- в

воде и содержанием Fe и Mn во взвешенном веществе. Также характеризуется снижением содержания

К и Ni в воде и ВВ. Несмотря на невысокую значимость данного фактора, он позволяет высказать предположение, что источником повышенной минерализации в верхней части реки являются осушенные болота, расположенные вблизи истока реки, сток с которых мог привести к таким изменениям приведенных показателей, а также поступлением подземных вод на данном участке реки.

Заключение

В ходе проведения комплексного мониторинга состояния р. Китерня были изучены визуально-морфологические и гидрохимические особенности р. Китерня – левого притока р. Ишим в пределах лесостепной зоны Тюменской области, отмечено значительное антропогенное вмешательство в естественный водоток путем создания плотин, прудов, значительно снижающих скорость движения вод. Для учета антропогенного воздействия на качество водного объекта пробы отбирались вблизи основных населенных пунктов, расположенных на побережье. Определение химического состава вод и сопоставление его с результатами мониторинга 1991 г. позволило зафиксировать существенное изменение типа воды – увеличение общей минерализации воды более чем в 2 раза, значительное увеличение содержания ионов натрия и хлора, особенно в верховье реки.

Отмечен значительный рост содержания биогенных элементов и некоторых металлов: превышение ПДК фосфат-ионов и марганца во всех точках отбора, точечное превышение ПДК железа и меди, никель превышал ПДК только при учете вклада взвешенного вещества. Изучение распределения содержания элементов в системе «вода–взвешенное вещество–донные отложения» позволяет утверждать, что большая часть поллютантов мигрирует во взвешенном состоянии, что необходимо учитывать при проведении ана-

лиза. Ряд методик определения загрязнителей проводится после фильтрования вод, а часть – без удаления взвешенных веществ, кроме того, использование кислот для консервирования вод приводит к переходу части кислоторастворимых соединений в водную фазу и значительному увеличению их концентрации. Отдельное определение металлов в растворенной форме и во взвешенном веществе позволяет получать более достоверную информацию о формах нахождения и миграции таких элементов. В донных отложениях р. Китерня наблюдалось точечное превышение ПДК никеля и цинка, кадмий превышал установленную норму во всех пробах отбора. Сопоставление полученных результатов с данными 1991 г. [Калинин и др., 1998] позволяет сделать вывод об ухудшении качества вод р. Китерня за последние 30 лет. Изменение качества вод может быть связано с изменением климатических условий, ведущим к снижению уровня вод (местами пересыханию) и зарастанию, а также с антропогенной деятельностью, в частности с возведением плотин на реке, размывом дорог, стоков с сельскохозяйственных полей и животноводческих ферм, деятельность которых в последние годы прогрессирует.

Использование кластерного анализа позволило выявить условия, определяющие миграцию, трансформацию и накопление многих компонентов вод, в частности, интегральные и гидрохимические показатели напрямую связаны кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями в водотоке. ТМ в реке преимущественно мигрируют либо в форме труднорастворимых фосфатов (Cu, Hg, Fe) в составе взвешенного вещества, либо в виде комплексных соединений с гуминовыми веществами (в воде) или растительными остатками (ВВ и ДО). Данные факторного анализа подтверждают эти выводы и позволяют предполагать возможные источники и формы нахождения токсикантов в р. Китерня.

Список источников

- Алешина О.А., Волкова Л.А., Гашев С.Н., Елифанов А.В., Жигилева О.Н., Казанцева М.Н., Кремлева Т.А., Кузьмин И.В., Ларина Н.С., Ларин С.И., Моисеенко Т.И., Огурцова Л.В., Паничева Л.П., Пислегин Д.В., Пологрудова О.А., Селюков А.Г., Соромотин А.В., Столбов В.А., Толстиков А.В., Третьяков Н.Ю. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околосредных экосистем. Тюмень : Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2011. 128 с.
- Богданов Н.А., Ермолаев Б.В., Басс О.В., Паранина А.Н. Ртуть в донных осадках акватории и в устьях рек: Калининградский залив // Геосферные исследования. 2020. № 2. С. 76–82.
- Глаз Н.В., Васильев А.А. Изменение климата // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 4 (48). С. 32–39.
- Гришанцева Е. С., Бычкова Е.С., Федорова Л.П. Эколого-геохимические исследования малых рек, впадающих в Ивановское водохранилище (р. Волга) // Вода: химия и экология. 2019. № 1–2. С. 15–26.
- Закруткин В.Е., Решетняк В.Н., Решетняк О.С. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами донных отложений рек восточного Донбасса (Ростовская область, Россия) // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 3. С. 32–40.
- Искандарова Ш.Т., Усманов И.А., Хасанова М.И. Влияние донных отложений на качество воды малых рек // Экология и строительство. 2019. № 1. С. 19–24.
- Калинин В.М., Ларин С.И., Романова И.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). Тюмень : Изд-во Тюм. гос. ун-та, 1998. 220 с.

Кирпичникова Н.В., Полянин В.О., Курбатова И.Е., Черненко Ю.Д. Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Ивановское водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 81–105.

Кременецкая Е.Р. и др. Количественная оценка потоков органического вещества в донные отложения стратифицированного водохранилища долинного типа // Вода: химия и экология. 2018. № 7–9. С. 39–46.

Ларина Н.С., Устименко А.А., Гусельников В.Л., Пинигина Е.П. Геохимический мониторинг городского пруда Южного (г. Тюмень) // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. Т. 3, № 3. С. 8–22.

Ларина Н.С., Гусельников В.Л., Устименко А.А. Комплексный геохимический мониторинг озера Цимлянское (г. Тюмень) // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, № 2. С. 74–83.

Ларина Н.С., Катанаева В.Г., Шелпакова Н.А. Техногенное загрязнение природных вод. Тюмень : Мандр-Ика, 2004. 224 с.

Ларина Н.С., Ларин С.И., Беспоместных С.Г. К вопросу о методах оценки качества вод // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2010. № 7. С. 218–228.

Ларина Н.С., Устименко А.А., Фахретдинов А.В. Химико-экологическая оценка состояния пруда Южный (г. Тюмень) // Вода: химия и экология. 2019. № 7–9. С. 123–128.

Ларина Н.С., Шуплецова П.А., Белоусова Ю.О., Ларин С.И. Оценка химико-экологического состояния малых рек бассейна реки Ишим // Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях : Всерос. симп. и школа-конф. молодых ученых, Севастополь. М. : Граница, 2021. С. 237–238.

Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия». Утверждена приказом Министерства природных ресурсов РФ от 30 ноября 1992 г. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511?section=text> (дата обращения: 25.04.2024).

Моисеенко Т.И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения // Геохимия. 2019. Т. 64, № 7. С. 298–308.

Никаноров А.М. Гидрохимия : учеб. СПб. : Гидрометеиздат, 2001. 444 с.

Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Опекунова М.Г. Техногенная трансформация состава донных отложений рек и каналов Санкт-Петербурга. Геоэкологи // Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 4. С. 48–61.

Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряд: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем. Новосибирск : Ин-т водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, 2001. 58 с.

Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М. : Медиатор, 1995. 195 с.

Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”»: дата введения 2021-03-01. М. : Официальный интернет-портал правовой информации, 2021. 469 с.

Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (ред. от 22.08.2023) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрирован в Минюсте России 13.01.2017 № 45203). Приложение. М. : Минсельхоза России, 2024. 91 с.

Прожорина Т.И., Курлоп С.А., Нагих Т.В. Оценка экологического состояния малых рек Воронежской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 298–308.

Протокол лабораторных испытаний № 6267 и № 6268 от 30 ноября 2020 г. // Официальный портал органов государственной власти Тюменской области. URL: <https://abatsk.admtumen.ru/> (дата обращения: 31.07.2023).

Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 15, вып. 3. 423 с.

Савичев О.Г. Исследование взаимосвязей между химическим составом вод и донных отложений рек Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 5. С. 178–188.

Саликова Н.С., Уралбаева А.А. О комплексной оценке и факторах формирования гидрохимического состава поверхностных вод Акмолинской области // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2016. № 1. С. 22–27.

Соромотин А.В., Кудрявцев А.А., Ефимова А.А. и др. Фоновое содержание тяжелых металлов в воде малых рек Надымпуровского междуречья // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 2. С. 48–55.

Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. Л. : Гидрометеиздат, 1989. 392 с.

Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2002. № 64. С. 1–114.

Шарипова О.А. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях озера Балхаш в зависимости от природных и антропогенных факторов // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 390. С. 225–230.

Huang Zh. et al. Distribution, toxicity load, and risk assessment of dissolved metal in surface and overlying water at the Xiangjiang River in southern China // Scientific report. 2021. V. 11 (109). P. 1–12.

Jaskula J. et al. Analysis of spatial variability of river bottom sediment pollution with heavy metals and assessment of potential ecological hazard for the Water River, Poland // Minerals. 2021. V. 11 (3). P. 327.

Loh P.S. et al. Monitoring Sediment and Water Chemistry in Small Remote Aquatic Systems in East Sepik Province, Papua New Guinea // Water Air and Soil Pollution. 2021. V. 232(446). P. 1–16.

Luo P. et al. Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: Assessment and source analysis // Water Science and Technology. 2021. V. 84 (10–11). P. 3072–3090.

Maslennikova S., Larina N., Larin S. The effect of sediment grain size on heavy metal content // Lakes, Reservoirs and Ponds. 2012. V. 6 (1–2). P. 43–54.

- Omowumi Olayinka-Olagunju J., Adekunle A. Dosumu, Adetola Mary Olatunji-Ojo.** Bioaccumulation of Heavy Metals in Pelagic and Benthic Fishes of Ogbese River, Ondo State, South-Western Nigeria // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2021. V. 232 (44). P. 1–19.
- Ouyan Y., Feng G., Parajuli P., Leininger Th., Wan Y., Johnie N. Jenkins.** Prem Assessment of Surface Water Quality in the Big Sunflower River Watershed of Mississippi Delta Using Nonparametric Analysis // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2018. V. 229 (11). P. 1–13.
- Takic L., Mladenovic-Ranisavljevic I., Vasovic Ljiljana D.** The Assessment of the Danube River Water Pollution in Serbia // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2017. V. 10. P. 380–388.
- Tian K. et al.** Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea // *Environment international*. 2020. V. 136. P. 1–38.
- Yin J. et al.** The distribution and risk assessment of heavy metals in water, sediments, and fish of Chaohu Lake, China // *Environmental earth sciences*. 2018. V. 77(3). P. 1–12.

References

- Aleshina O.A., Volkova L.A., Gashev S.N., Elifanov A.V., Zhigileva O.N., Kazantseva M.N., Kremleva T.A., Kuzmin I.V., Larina N.S., Larin S.I., Moiseenko T.I., Ogurtsova L.V., Panicheva L.P., Pislegin D.V., Pologrudova O.A., Selyukov A.G., Soromotin A.V., Stolbov V.A., Tolstikov A.V., Tretyakov N.Yu. *Kompleksnoe gidrokhimicheskoe i biologicheskoe issledovanie kachestva vod i sostoyaniya vodnykh i okolovodnykh ekosistem*. [Comprehensive hydrochemical and biological study of water quality and the state of aquatic and near-water ecosystems]. Tyumen: publishing house of Tyumen State University. 2011. 128 p. In Russian
- Bogdanov N.A., Ermolaev B.V., Bass O.V., Paranina A.N. *Rtut' v donnykh osadkakh akvatorii i v ust'yakh rek: Kaliningradskiy zaliv* [Mercury in bottom sediments of the water area and in the mouths of rivers: Kaliningrad Bay] // *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2020. (2). pp. 76–82. In Russian
- Grishantseva E.S., Bychkova E.S., Fedorova L.P. *Ekologo-geokhimicheskie issledovaniya malykh rek, vpadayushchikh v Ivan'kovskoe vodokhranilishche (r. Volga)*. [Ecological and geochemical studies of small rivers flowing into the Ivankovskoye reservoir (Volga River)] // *Voda: khimiya i ekhologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2019. (1–2). pp. 15–26. In Russian
- Zakrutkin V.E., Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S. *Otsenka urovnya zagryazneniya tyazhelymi metallami donnykh otlozheniy rek vostochnogo Donbassa (Rostovskaya oblast', Rossiya)* [Assessment of the level of heavy metal pollution of bottom sediments of the rivers of the eastern Donbass (Rostov region, Russia)] // *Voda i ekhologiya: problemy i resheniya* [Water and Ecology: Problems and Solutions]. 2020. No.3. pp. 32–40. In Russian
- Iskandarova Sh.T., Usmanov I.A., Khasanova M.I. *Vliyanie donnykh otlozheniy na kachestvo vody malykh rek*. [Influence of bottom sediments on water quality of small rivers] // *Ecology and construction*. (1). 2019. pp. 19–24. In Russian
- Kalinin V.M., Larin S.I., Romanova I.M. *Malye reki v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya (na primere Vostochnogo Zaural'ya)*. [Small rivers in conditions of anthropogenic impact (on the example of the Eastern Trans-Urals)] // Tyumen: publishing house of Tyumen State University. 1998. 220 p. In Russian
- Kirpichnikova N.V., Polyaniy V.O., Kurbatova I.E., Chernenko Yu.D. *Kriterii otsenki ekologicheskogo sostoyaniya vodosborov malykh rek i vynosa biogennykh veshchestv v Ivan'kovskoe vodokhranilishche*. [Criteria for assessing the ecological state of the catchments of small rivers and the removal of nutrients into the Ivankovo reservoir] // *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2021. (6). pp. 81–105. In Russian
- Kremenetskaya E.R. *Kolichestvennaya otsenka potokov organicheskogo veshchestva v donnye otlozheniya stratifitsirovannogo vodokhranilishcha dolinnogo tipa*. [Quantitative assessment of organic matter flows into the bottom sediments of a stratified valley-type reservoir] // *Voda: khimiya i ekhologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2018. (7–9). pp. 39–46. In Russian
- Larina N.S., Ustimenko A.A., Gusel'nikov V.L., Pinigina E.P. *Geokhimicheskii monitoring gorodskogo pruda Yuzhnogo (g. Tyumen')*. [Geochemical monitoring of the South municipal pond (Tyumen)] // *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management*. 2017. 3(3). pp. 8–22. In Russian
- Larina N.S., Gusel'nikov V.L., Ustimenko A.A. *Kompleksnyy geokhimicheskii monitoring ozera Tsimlyanskoe (g. Tyumen')*. [Complex geochemical monitoring of Lake Tsimlyanskoe (Tyumen)] // *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management*. 2015. 1(2). pp. 74–83. In Russian
- Larina N.S., Katanaeva V.G., Shelpakova N.A. *Tekhnogennoe zagryaznenie prirodnykh vod*. [Technogenic pollution of natural waters]. Tyumen: Mandr-Ika, 2004. 224 p. In Russian
- Larina N.S., Larin S.I., Bespomestnykh S.G. *K voprosu o metodakh otsenki kachestva vod*. [On the question of water quality assessment methods] // *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management*. 2010. (7). pp. 218–228. In Russian
- Larina N.S., Shupletsova P.A., Belousova Yu.O., Larin S.I. *Otsenka khimiko-ekologicheskogo sostoyaniya malykh rek basseyna reki Ishim*. [Assessment of the small rivers ecological and chemical state in the Ishim River basin]. Physico-chemical methods in interdisciplinary ecological research: All-Russian Symposium and school-conference of young scientists, Sevastopol. Moscow: Publishing House "Border". 2021. pp. 237–238. In Russian
- Larina N.S., Ustimenko A.A., Fakhretdinov A. V. *Khimiko-ekologicheskaya otsenka sostoyaniya pruda Yuzhnyy (g. Tyumen')*. [Chemical and ecological assessment of the South Pond state (Tyumen)] // *Voda: khimiya i ekhologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2019. (7–9). pp. 123–128. In Russian
- Metodika "Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya"* [Methodology "Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify zones of environmental emergency and zones of environmental disaster."]. Utverzhdena prikazom Ministerstva prirodnykh resursov RF ot 30 noyabrya 1992 goda. Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511?section=text> (Date of accessed: 25.04.2024). In Russian
- Moiseenko T.I. *Biodostupnost' i ekotoksichnost' metallov v vodnykh sistemakh: kriticheskie urovni zagryazneniya*. [Bioavailability and ecotoxicity of metals in water systems: critical pollution levels]. 2019. V. 64. No.7. pp. 298–308. In Russian
- Nikanorov A.M. *Gidrokhimiya* [Hydrochemistry]: Textbook. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2001. 444 p. In Russian

Opekunov, A. Yu., Mitrofanova E.S., Opekunova M.G. *Tekhnogennaya transformatsiya sostava donnykh otlozheniy rek i kanalov Sankt-Peterburga. Geoekologi*. [Technogenic transformation of the bottom sediments of rivers and canals of St. Petersburg]. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2017. (4). pp. 48–61. In Russian

Papina T.S. *Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryad: voda – vzheshennoe veshchestvo – donnye otlozheniya rechnykh ekosistem*. [Transport and distribution features of heavy metals in a row: water – suspended matter – bottom sediments of river ecosystems]. Novosibirsk: Institute of water and environmental problems of the Siberian branch of the Russian academy of sciences. 2001. 58 p. In Russian

Perechen' predel'no dopustimyykh kontsentratsiy i orientirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya vrednykh veshchestv dlya vody rybokhozyaystvennykh vodoemov [List of maximum permissible concentrations and estimated safe levels of exposure to harmful substances for water in fishery reservoirs]. Moscow: Izd-vo «Medinor», 1995. 195 p. In Russian

Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 28.01.2021 № 2 "Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredi obitaniya" : data vvedeniya 2021- 03-01. [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 01/28/2021 No. 2 "On approval of sanitary rules and regulations SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"] Moscow : Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii, 2021. 469 p. In Russian

Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13.12.2016 N 552 (red. ot 22.08.2023) Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated 13.12.2016 N 552 (as amended on 22.08.2023) On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance] (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 13.01.2017 N 45203). Prilozhenie. Moscow : Minsel'khoza Rossii. 91 p. In Russian

Prozhorina T.I., Kurolap S.A., Nagikh T.V. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya malyykh rek Voronezhskoy oblasti*. [Assessment of the Voronezh region small rivers ecological state]. Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: Natural sciences. 2018. 42(2). pp. 298–308. In Russian

Protokol laboratornykh ispytaniy № 6267 i №6268 ot 30 noyabrya 2020g. [Laboratory research Protocol No. 6267 and No. 6268 dated November 30, 2020]. Official website of the Organov State Administration of the Tyumen region URL: <https://abatsk.admtymen.ru/>. In Russian

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Altay i Zapadnaya Sibir'. Nizhniy Irtysh i Nizhnyaya Ob'. [Surface water resources of the USSR. Altai and Western Siberia. Lower Irtysh and Lower Ob]. Leningrad: Hydrometeoizdat. 1973. 15 (3). 423 p. In Russian

Salikova, N. S., Uralbaeva A.A. *O kompleksnoy otsenke i faktorakh formirovaniya gidrokhimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod Akmolinskoy oblasti*. [On complex assessment and factors in the formation of the surface waters hydrochemical compositions in the Akmola region]. Bulletin of D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University. 2016. (1). pp. 22–27. In Russian

Savichev O. G. *ssledovanie vzaimosvyazey mezhdu khimicheskim sostavom vod i donnykh otlozheniy rek Sibiri*. [Investigation of interrelations between the chemical composition of Siberian rivers waters and bottom sediments]. Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2019. 330 (5). pp. 178–188. In Russian

Soromotin A.V., Kudryavtsev A.A., Efimova A.A. *Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov v vode malyykh rek Nadym-purovskogo mezhdurech'ya*. [The background content of heavy metals in the water of small rivers in the Nadym - Pur interfluvial area]. // Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2019. (2). pp. 48–55. In Russian

Spravochnik po gidrokhimii [Handbook of Hydrochemistry] / Ed. by A.M. Nikanorov. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 392 p. In Russian

Tkachev B.P., Bulatov V.I. *Malye reki: sovremennoe sostoyanie i ekologicheskie problem*. [Small rivers: current state and environmental problems]. Ecology. A series of analytical reviews of world literature. 2002. (64). pp. 1–114. In Russian

Sharipova O.A. *Raspredelenie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh ozera Balkhash v zavisimosti ot prirodnykh i antropogennykh faktorov*. [Distribution of heavy metals in bottom sediments of Lake Balkhash depending on natural and anthropogenic factors]. Bulletin of Tomsk State University. 2015. (390). pp. 225–230. In Russian

Huang Zh., et al. *Distribution, toxicity load, and risk assessment of dissolved metal in surface and overlying water at the Xiangjiang River in southern China*. Scientific report. 2021. 11 (109). pp. 1–12.

Jaskula J., et al. *Analysis of spatial variability of river bottom sediment pollution with heavy metals and assessment of potential ecological hazard for the Water River, Poland*. Minerals. 2021. 11 (3). pp. 327.

Loh P.S., et al. *Monitoring Sediment and Water Chemistry in Small Remote Aquatic Systems in East Sepik Province, Papua New Guinea*. Water Air and Soil Pollution. 2021. 232(446). pp. 1–16.

Luo, P., et al. *Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: Assessment and source analysis*. Water Science and Technology. 2021. 84 (10–11). pp. 3072–3090.

Maslennikova S., Larina N., Larin S. *The effect of sediment grain size on heavy metal content*. Lakes, Reservoirs and Ponds. 2012. 6 (1–2). pp. 43–54.

Omwumi Olayinka-Olagunju J., Adekunle A. Dosumu, Adetola Mary Olatunji-Ojo. *Bioaccumulation of Heavy Metals in Pelagic and Benthic Fishes of Ogbese River, Ondo State, South-Western Nigeria*. Water, Air, & Soil Pollution. 2021. 232 (44). pp. 1–19.

Ouyan Y., Feng G., Parajuli P., Leininger Th., Wan Y., Johnie N. Jenkins. *Prem Assessment of Surface Water Quality in the Big Sunflower River Watershed of Mississippi Delta Using Nonparametric Analysis*. Water, Air, & Soil Pollution. 2018. 229 (11). pp. 1–13.

Takic L., Mladenovic-Ranisavljevic I., Vasovic, Ljiljana D. *The Assessment of the Danube River Water Pollution in Serbia*. Water, Air, & Soil Pollution. 2017. (10). pp. 380–388.

Tian, K., et al. *Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea*. Environment international. 2020. 136. pp. 1–38.

Yin J., et al. *The distribution and risk assessment of heavy metals in water, sediments, and fish of Chaohu Lake, China*. Environmental earth sciences. 2018. 77(3). pp. 1–12.

Информация об авторах:

Ларина Н.С., кандидат химических наук, профессор, кафедра органической и экологической химии, Институт химии, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: nslarina@yandex.ru

Ларин С.И., кандидат географических наук, доцент, исполняющий обязанности директора Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия.

E-mail: silarin@yandex.ru

Белюсова Ю.О., магистр, Институт химии, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: belousova1485@gmail.com

Шуплетова П.А., инженер, Институт химии, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: polina.a.shupletsova@gmail.com

Устинова Е.В., кандидат геолого-минералогических наук, ученый секретарь, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН; доцент, кафедра криологии Земли, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.

E-mail: sciensec@ikz.ru

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Larina N.S., Cand.Sci. (Chemistry), Professor, Institute of Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russia.

E-mail: nslarina@yandex.ru

Larin S.I., Cand.Sci. (Geography), Associate Professor, Acting director, Earth Cryosphere Institute, Tyumen, Russia.

E-mail: silarin@yandex.ru

Belousova Yu.O., student, Institute of Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russia.

E-mail: belousova1485@gmail.com

Shupletsova P.A., Engineer, Institute of Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russia.

E-mail: polina.a.shupletsova@gmail.com

Ustinova E.V., Cand.Sci. (Geol.-Miner.), Scientific secretary, Earth Cryosphere Institute; Associate Professor, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia.

E-mail: sciensec@ikz.ru

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 07.09.2023; одобрена после рецензирования 27.11.2024; принята к публикации 03.03.2025

The article was submitted 07.09.2023; approved after reviewing 27.11.2024; accepted for publication 03.03.2025