

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.4.054

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ “ВОДОТОК И ЕГО ВОДОСБОР” МАЛОЙ Р. ПОЛЕЖАЕВКА (БАССЕЙН Р. АМУР)

© 2024 г. Л. А. Гаретова<sup>1,\*</sup>, Е. Л. Имранова<sup>1</sup>, Н. К. Фишер<sup>1</sup>, А. М. Кошельков<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева 56, Хабаровск, 680000 Россия<sup>2</sup>Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, 680000 Россия

\*E-mail: gar-va1948@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2024 г.

После доработки 21.08.2024 г.

Принята к публикации 09.09.2024 г.

Представлены данные о содержании растворенных веществ,  $C_{\text{орг}}$ , углеводов, фенолов, токсичных металлов и мышьяка в воде, донных отложениях и почве водосбора малой городской р. Полежаевка (г. Хабаровск). Выявлена положительная зависимость между содержанием  $C_{\text{орг}}$  и фракцией частиц размером 0.01 мм в почве. По вертикальному профилю почвы снижение  $C_{\text{орг}}$  сопровождалось увеличением содержания металлов (кадмий, медь, никель, ртуть, свинец, цинк) и мышьяка. Углеводы в воде не превышали 0.18 мг/дм<sup>3</sup> (3.6 ПДК<sub>р.х.</sub>), в донных отложениях находились в границах допустимой углеводородной перегрузки самоочищающей способности  $C_{\text{ув}}/C_{\text{орг}} = 0.07–0.43$ , в почве – не превышали 141.6 мг/кг. Коэффициент донной аккумуляции по показателям железа, марганца, свинца и цинка характеризуется как “поступление в водный объект свежего загрязнения”. Полученные сведения полезны при оценке геохимических последствий затопления поймы малых рек и при планировании мероприятий по ревитализации городских малых рек.

**Ключевые слова:** малая река, урбанизированные территории, донные отложения, почва, органический углерод, углеводороды, металлы, мышьяк

DOI: 10.31857/S0869780924060072 EDN: ALTKKF

## ВВЕДЕНИЕ

Малые реки составляют 99% всех естественных водотоков России [27]. Только на территории г. Хабаровск и его пригородов насчитывается более 20 малых рек. Главная особенность формирования стока малых рек — их очень тесная связь с ландшафтом бассейна, что и обуславливает их уязвимость при чрезмерном использовании не только водных ресурсов, но и водосбора. Они выполняют функции регулятора водного режима ландшафтов, поддерживая равновесие и перераспределение влаги. Малые реки урбанизированных территорий обладают ограниченными регенерирующими возможностями, они наиболее подвержены воздействию хозяйственной деятельности по сравнению с крупными реками [36, 39]. В результате постоянно возрастающей антропогенной нагрузки состояние малых рек урбанизированных территорий не только России, но и всего мира оценивается, как катастрофическое. Многие малые реки Хабаровска утратили черты природных водных объектов и превратились в коллекторы сточных вод. Уровни загрязненности вод характеризовались в разные годы как “умеренно загрязненные”, “загрязненные” и “грязные” (3, 4 и 5 классы качества) [6, 26].

Распространено мнение, что, в ближайшие годы большая часть загрязняющих веществ (ЗВ) будет поступать в поверхностные воды не от стационарных точечных источников, а в результате смыва с поверхности водоразделов и с территорий крупных городов с ливневым стоком. Поверхностные стоки способны внести в водные объекты до 99% загрязнений. По расчетам из общего количества ЗВ, содержащихся во всех видах сточных вод, отводимых с территории города, на долю поверхностного стока в настоящее время приходится: около 78% взвешенных веществ, 20% органических веществ (по БПК) и 68% нефтепродуктов [11].

В руслах малых городских рек и их поймах (если они еще сохранились) происходит накопление нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов, а также соединений меди, марганца, железа [21, 25, 30, 32, 33]. Металлы в природной среде, а особенно в донных осадках, пребывают в постоянной миграции, которая может реализовываться как в механической форме (вместе со слагающими осадок частицами), так и в растворенной и коллоидальной форме, причем при этом происходит непрекращающийся взаимообмен между гидросферой и литосферой через одну из известнейших геохимических барьерных зон “дно — вода”.

В естественных водоемах большая часть тяжелых металлов попадает в донные отложения (ДО) [35]. Сорбция тяжелых металлов донными отложениями зависит от особенностей их состава и содержания органических веществ (ОВ).

В последнее десятилетие интерес к малым водотокам Дальнего Востока обусловлен не только усилением антропогенного пресса [4, 16, 18], но и специфическим гидрологическим режимом бассейна р. Амур [7, 12, 15, 26, 28, 29]. В отличие от рек европейской части России, где основной причиной эвтрофирования малых рек является маловодность, основная особенность водного режима бассейна Амура — паводки и наводнения, которые в последнее десятилетие носят регулярный характер и в большинстве случаев имеют “опасный” или как в 2013 г. “катастрофический” уровень водности [15]. Длительность затопления паводковыми водами пойменных почв определяет преобладание либо окислительных (кратковременное затопление поймы), либо окислительно-восстановительных (долгопоемный режим). Повышенная обводненность речных пойм создает своеобразную геохимическую обстановку, при которой значительно возрастает подвижность химических элементов и соединений [3].

С эмпирической точки зрения система “водоток и его водосбор”, включающая русла загрязненных малых рек и прилегающую к ним почву, представляет собой своеобразную природную лабораторию, позволяющую изучать физико-химические, биогеохимические, продукционно-деструкционные, миграционные и другие аспекты преобразования антропогенно измененных водосборов. Такие сведения крайне важны для понимания сущности процессов трансформации природных и антропогенных экосистем и служат основой для оценки перспектив реабилитации водосборов малых городских рек. Для принятия технических решений по ревитализации водосборов городских рек требуется комплексное изучение признаков, характеризующих качественное их состояние, потенциальную возможность экосистем к самоочищению в условиях техногенного воздействия.

Цель исследования — выявить особенности распределения  $C_{орг}$ , углеводов (УВ), металлов и мышьяка между водой, ДО и почвой в системе “водоток и его водосбор” малой реки.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Река Полежаевка берет начало в оврагах северо-восточной части г. Хабаровск и, протекая в юго-восточном направлении, сливается с р. Гнилая Падь в 2 км от ее впадения в р. Чёрная. Общая протяженность водотока составляет менее 10 км, ширина русла 1.0–1.5 м; площадь водосбора реки составляет 6.4 км<sup>2</sup>. На всем протяжении водоток заилен, берега покрыты разнотравьем. Природный

микрорельеф района исследования изменен в результате сельскохозяйственного и мелиоративного освоения. Южнее с. Тополево ранее для полива теплиц была оборудована сеть мелиоративных каналов, вытекающих из запруженного дамбой пруда на р. Полежаевка. В настоящее время пруд спущен, его стоки заилены, деградированы, большинство орошаемых ими земель уже не используются для сельскохозяйственного назначения. На участке среднего течения (створ 4) в реку поступают неконтролируемые хозяйственные стоки с. Тополево. Схема района исследования с пунктами отбора проб воды, ДО и почвы представлена на рис. 1.

Исследования воды, ДО и почвы проводили в период осенней межени (первая декада октября 2022 г.). Пробы речной воды отбирались с глубины ~10 см, объем проб составлял  $\geq 2$  л. Пробы ДО отбирали пробоотборником (буром) “Burkle” из слоя 0–10 см. Образцы почвы отбирали из слоев 0–20 и 20–80 см в пределах водоохранной зоны (расстояние от русла не более 50 м). Определенные рН, минерализации (М) и удельной электропроводности (УЭП) воды и водной вытяжки из ДО и почвы (соотношение 1 : 5) проводили с помощью измерителя комбинированного Seven Multi S-47k (Mettler-Toledo, Швейцария). Гранулометрический состав ДО и содержание фракции 0.01 мм в почве определяли согласно [8]. Концентрацию  $C_{орг}$  в образцах ДО и почвы определяли фотометрическим методом после окисления ОВ в ДО сульфохромной смесью [9], измерения проводили на спектрофотометре Спекол-1.

Определение содержания УВ выполняли по методике [19], измерения проводили на концентратометре КН-2М (Сибэкоприбор, Россия). Массовую долю летучих фенолов определяли согласно [20] с помощью спектрофотометра В-1200 (Shanghai Instruments Co., Ltd Китай).

Анализы металлов и мышьяка выполняли ФГБУ ЦАС “Хабаровский”. Определение их массовой доли в пробах воды, ДО и почвы проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ААС) Agilent 720 JCP-OES (Agilent Technologies, США), ртути на ААС Квант-2АТ, (ООО Кортек, Россия) посредством метода, основанного на минерализации образцов способом сухого озоления и определения концентрации элемента в растворе минерализата методом пламенной атомной абсорбции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Физико-химические параметры воды, донных отложений и почв*

Величина рН воды варьировала от 7.66 до 8.55, с выраженной тенденцией увеличения от верхнего к нижним створам (табл. 1). Содержание растворенных веществ в воде по интегральному показателю удельной электропроводности

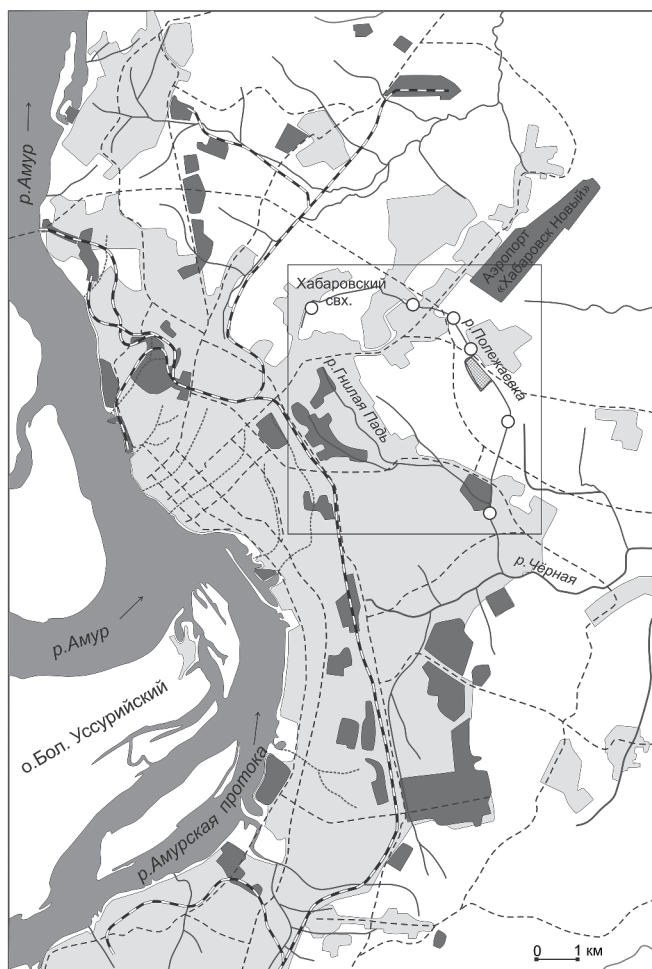
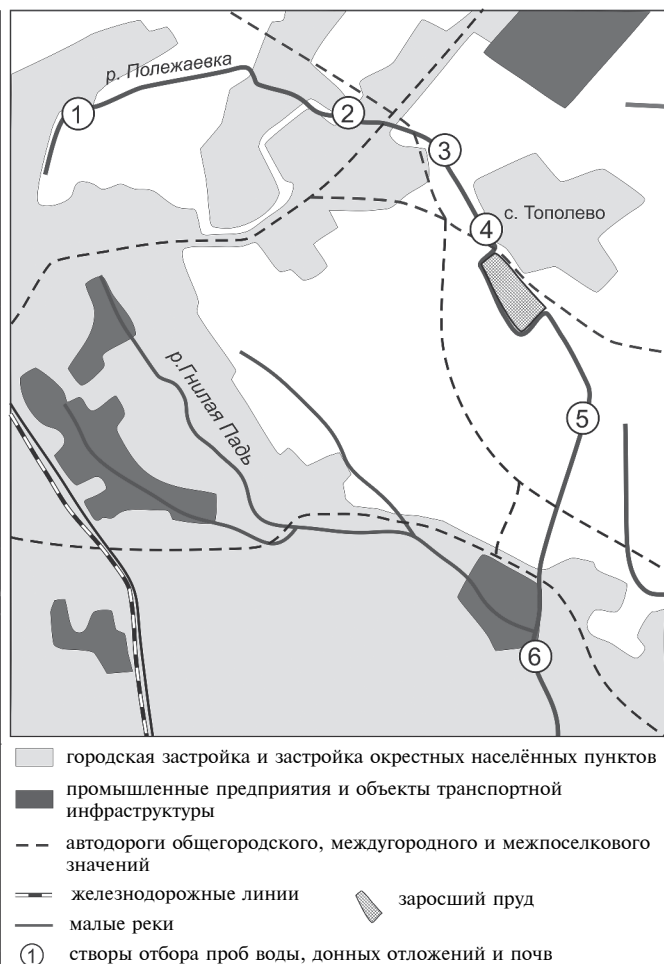


Рис. 1. Карта-схема района исследований.



(УЭП) варьировало от 289 до 396 мкс/см, соответственно изменялась величина минерализации – от 144.5 до 197.7 мг/дм<sup>3</sup> при минимальном значении в 4 створе и максимальном в 1 верхнем створе. Следует отметить, что показатели содержания растворенных веществ (УЭП, минерализация) в воде превышали таковые в ДО в 1.4, в почве в 2.8 раза. Превышение содержания фенолов было незначительно – 1.1 ПДК, и выявлено в единичном случае (4 створ). Превышение содержания нефтепродуктов зафиксировано в воде створов 4 и 5 и составило 3.6 и 1.2 ПДК соответственно.

Мощность слоя ДО на разных участках Полежаевки неоднородна и зависит от морфометрии участка и гидрологических характеристик водотока. В створах с широким руслом, характеризующихся замедленным течением реки, в ДО повышается доля мелкодисперсных фракций (рис. 2). Доминируют в последнем случае частицы размером 0.1–0.01 мм, составляющие до 68% в составе ДО. Доля физической глины (<0.002 мм) в образцах ДО не превышает 4.18%.

Величина pH водной вытяжки из ДО была в пределах нейтральной – от 6.3 до 7.5 (табл. 2).

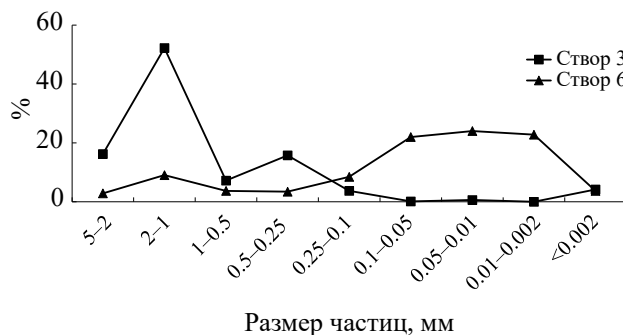


Рис. 2. Основные типы распределения гранулометрического состава ДО р. Полежаевка.

Максимальные величины УЭП и минерализации водной вытяжки были выявлены в илах створов 2 и 5. Количество  $S_{орг}$  в ДО изменялось от 4.04 до 9.09% (среднее 5.95%) при минимальном содержании в осадках 4 створа и максимальном в ДО 2 створа. Содержание УВ варьировало в пределах одного порядка – от 39.9 до 429.7 мг/кг при максимальном содержании в ДО верхнего 1 створа. Доля углерода, входящего в состав УВ ( $S_{УВ}$ ) в общем содержании  $S_{орг}$  варьировало от 0.07 до 0.43%,

Таблица 1. Гидрохимические показатели воды р. Полежаевка

Показатели	Ед. изм.	Створ						Норматив*
		1	2	3	4	5	6	
Водородный показатель	pH	7.66 ± 0.2	7.83 ± 0.2	7.83 ± 0.2	7.93 ± 0.2	8.55 ± 0.2	8.3 ± 0.2	–
Минерализация	мг/дм <sup>3</sup>	197.7 ± 0.5	160.5 ± 0.5	160.3 ± 0.5	144.5 ± 0.3	161.2 ± 0.5	155.85 ± 0.4	–
УЭП	мКС/см	396 ± 1.0	321 ± 1.0	320 ± 1.0	289 ± 1.0	322 ± 1.0	312 ± 1.0	–
Фенолы летучие, сумма	мг/дм <sup>3</sup>	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0011 ± 0.0005	0.0007 ± 0.0003	<0.0005	0.001
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.18 ± 0.06	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.05

\* СанПиН 1.2.3685-21

при максимуме в ДО 4 створа, подверженному влиянию стоков с. Тополево. Условной границей допустимой перегрузки самоочищающей способности (Р) принята величина  $C_{УВ}/C_{орг} = 0.26\%$ , а высокой перегрузки – величина  $P > 0.5\%$  [13], т.е. по содержанию УВ исследованные ДО находятся в границах допустимой углеводородной перегрузки. Распределение концентраций фенолов имело неравномерный характер: максимальные концентрации выявлены в осадках 4 створа, минимальное – в нижнем 6 створе, при среднем значении 0.27 мг/кг. Влияние неконтролируемых коммунально-бытовых стоков с. Тополево проявляется в увеличении содержания в ДО УВ и фенолов ниже участка их сброса (створ 4) по сравнению с вышележащими створами.

Величина pH водной вытяжки из образцов почвы, отобранных с глубины 0–0.2 м изменялась от слабокислой до нейтральной – 5.55–7.10 (см. табл. 2). Минерализация была невысокой от 36.5 до 82.3 мг/л и закономерно изменялась в соответствии с величиной УЭП. Содержание  $C_{орг}$  колебалось от 4.67 в образце 4П до 11.04% в образце 5П при среднем значении 8.14%. Содержание ОВ связано с мелкодисперсной (0.01 мм) фракцией почвы ( $r = 0.86$ ) (рис. 3). В слое почвы 0–0.2 м частицы размером 0.01 мм составляли от 7.7 до 13.1%, в слое 0.2–0.8 м их количество снижалось и составляло от 4.3 до 7.9%. В нижнем горизонте почвы (0.2–0.8 м) содержание  $C_{орг}$  существенно снижалось (от 3.5 до 14 раз). Содержание УВ в почве изменялось от величины <5.0 до 141.6 мг/кг и в целом было значительно ниже, чем в ДО, соответствующим образом снижалась и доля УВ в общем количестве  $C_{орг}$  в почве (см. табл. 2).

Максимальное содержание УВ в почве выявлено на 2 створе, минимальное – на 6 створе. В целом содержание УВ в исследованной почве было значительно ниже, чем в ДО реки. Следует отметить, что проблема определения ПДК нефтяных УВ как для почв, так и для ДО практически не решена. Поэтому предложено оценивать степень нефтяного загрязнения почв по превышению содержания нефтепродуктов над фоновым значением

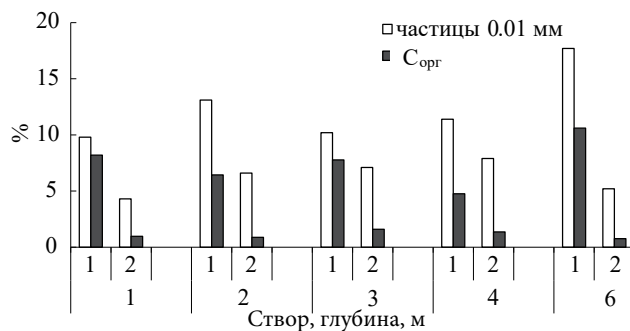


Рис. 3. Распределение частиц почвы размером 0.01 мм и  $C_{орг}$  в почвенном горизонте: 1 – 0–0.2 м, 2 – 0.2–0.8 м.

Таблица 2. Характеристика ДО и почвы водосбора р. Полежаевка

Створ	Описание в естественном состоянии	Водная вытяжка			Сухой образец			
		рН	УЭП, мкСм/см	М, мг/л	С <sub>орг</sub> *, %	УВ, мг/кг	С <sub>ув</sub> */С <sub>орг</sub> *, %	Массовая доля летучих фенолов, мг/кг
Донные отложения								
1	Темно-серый ил с включением растительных остатков	7.19 ± 0.1	278.0 ± 1.0	139.0 ± 1.2	5.35 ± 0.5	429.7 ± 28.9	0.70	0.24 ± 0.05
2	Темно-серый ил с включением гравия и растительных остатков	6.82 ± 0.1	312.0 ± 1.0	155.9 ± 1.5	9.09 ± 0.8	89.5 ± 5.8	0.09	0.26 ± 0.05
3	Серый песчанистый ил с включением гравия и крупного песка	6.67 ± 0.1	126.7 ± 1.0	63.4 ± 1.1	5.12 ± 0.5	39.9 ± 1.0	0.07	0.31 ± 0.06
4	Серый песчанистый ил с включением растительных остатков	7.50 ± 0.1	235.0 ± 1.0	117.5 ± 1.4	4.04 ± 0.3	199.3 ± 5.8	0.43	0.51 ± 0.10
5	Черный пастообразный ил с включением растительных остатков	6.85 ± 0.1	314.0 ± 1.0	156.9 ± 1.5	6.65 ± 0.5	95.7 ± 3.3	0.13	0.32 ± 0.06
6	Серый ил с включением охристой и серой глины, с растительными остатками	6.30 ± 0.1	92.2 ± 1.0	46.2 ± 1.0	5.50 ± 0.5	161.1 ± 8.9	0.25	0.11 ± 0.03
Почва								
1	Светло-коричневая почва, тяжелая глина, плотная, пронизана корнями	6.98 ± 0.1	117.2 ± 1.0	58.6 ± 1.1	8.20 ± 0.7	74.0 ± 3.7	0.08	0.18 ± 0.07
2	Почва коричневого цвета, комковато-порочестой структуры, с обилием корней и растительных остатков	7.10 ± 0.1	164.7 ± 1.0	82.3 ± 1.2	6.44 ± 0.5	141.6 ± 7.4	0.19	0.17 ± 0.07
3	Серо-бурая почва с пятнами тяжелой глины, пронизана корнями	5.55 ± 0.1	80.4 ± 1.0	40.3 ± 1.0	7.77 ± 0.7	11.3 ± 1.7	0.01	0.29 ± 0.08
4	Светло-коричневая, среднесуглинистая почва, пронизана корнями	5.67 ± 0.1	73.0 ± 1.0	36.5 ± 1.0	4.76 ± 0.5	11.7 ± 1.3	0.02	0.08 ± 0.01
5	Бурая почва комковатой структуры, много корней и растительных остатков разной степени разложения	6.67 ± 0.1	116.3 ± 1.0	58.1 ± 1.1	11.04 ± 0.7	6.4 ± 0.7	0.005	0.17 ± 0.07
6	Бурая почва комковатой структуры, много корней и растительных остатков разной степени разложения	6.15 ± 0.1	156.6 ± 1.0	78.3 ± 1.2	10.61 ± 0.6	<5.0	0.004	0.12 ± 0.03

\* Для пересчета концентраций УВ на содержание углерода (С<sub>ув</sub>) использовали коэффициент 0.867 [10]

**Таблица 3.** Содержание металлов и мышьяка в воде, ДО и почве водосбора р. Полежаевка

Компонент	Вода, мг/дм <sup>3</sup>	Донные отложения, мг/кг	Почва, мг/кг
Кадмий	$\frac{0.0001-0.01^*}{0.0005}$	$\frac{0.46-1.0}{0.73}$	$\frac{0.10-0.87}{0.53}$
Медь	$\frac{0.002-0.01}{0.007}$	$\frac{14.05-24.0}{19.03}$	$\frac{13.58-93.7}{25.86}$
Мышьяк	$\frac{0.002-0.005}{0.004}$	$\frac{5.9-10.5}{8.2}$	$\frac{2.00-14.50}{5.93}$
Никель	$\frac{0.001-0.01}{0.004}$	$\frac{10.54-30.9}{20.72}$	$\frac{8.44-44.1}{21.45}$
Ртуть	$\frac{0.0001-0.0001}{0.0001}$	$\frac{0.046-0.064}{0.055}$	$\frac{0.021-0.076}{0.066}$
Свинец	$\frac{0.001-0.005}{0.002}$	$\frac{18.13-62.10}{40.11}$	$\frac{8.61-71.60}{33.45}$
Цинк	$\frac{0.004-0.05}{0.02}$	$\frac{70.21-359.70}{214.96}$	$\frac{24.3-193.8}{118.15}$

\* В числителе – пределы варьирования, в знаменателе – медианные значения.

в конкретном районе и на конкретной территории [23]. При этом, в частности, указано, что для районов, не ведущих добычу нефти, фоновое содержание нефтяных УВ в почве составляет 40 мг/кг, а для нефтедобывающих районов – 100 мг/кг. При допущении, что на урбанизированных территориях нефтяные УВ являются приоритетными видами загрязнения, за фоновые значения мы приняли их содержание 100 мг/кг [17]. Согласно данной градации единичное превышение фонового значения в почве составляло не более 1.4 раза. Содержание фенолов в почве составляло от 0.08 до 0.29 мг/кг (в среднем 0.17 мг/кг), что ниже, чем среднее значение для ДО.

Сравнительная оценка уровня углеводородного загрязнения почв и ДО р. Полежаевка и других малых рек Хабаровска (Лесопилка, Чердымовка, Курча-Мурча) [5, 12], показала, что в ДО Полежаевки даже максимальное (429.7 мг/кг) количество УВ на 1–2 порядка ниже, чем в упомянутых водных объектах, где содержание УВ составляло от 5070 до 22540 мг/кг. Такая же картина наблюдалась и для почвы водосбора Полежаевки, где не только среднее, но и максимальное содержание (141.5 мг/кг) было ниже на 2 порядка, чем в почвах водосбора р. Курча-Мурча.

#### *Металлы и мышьяк*

Содержание железа в воде составляло 0.32–2.0 мг/дм<sup>3</sup> и превышало уровень ПДК<sub>р.х.</sub> от 3.2 до 20 раз, количество марганца колебалось от 0.005 до 1.37 мг/дм<sup>3</sup> с превышением от 7.2 до 137 ПДК<sub>р.х.</sub> Высокие концентрации железа и марганца

характерны для поверхностных и подземных вод бассейна р. Амур, особенно это заметно в осенний и зимний периоды при увеличении доли грунтового питания в водных объектах [14]. В ДО происходит их аккумуляция, и количество железа достигает 5000, а марганца – 136 мг/кг. Их распределение в ДО носит неравномерный характер, максимальное содержание Fe и Mn выявлено в осадках застойного участка реки (4 створ). Содержание высокоопасных компонентов: кадмия, меди, мышьяка, никеля, ртути, свинца и цинка в воде, ДО и почве водосбора р. Полежаевка, представлено в табл. 3. В воде их концентрации были на уровне или ниже значений ПДК<sub>р.х.</sub>. Повышенное содержание цинка отмечено и в ДО, и в почве, где превышение ОДК составляло 1.95 и 1.49 раз соответственно. Мышьяк в большей степени аккумулятивен в ДО, его максимальное содержание 10.2 мг/кг (2 ОДК) выявлено в осадках реки, отобранных ниже бывшей дамбы (6 створ). Вероятно, повышенное по сравнению с почвой содержание мышьяка в ДО обусловлено не только природным фоном, но и влиянием хозяйственных стоков с Тополево.

Усилению миграции металлов и металлоидов из почвы в водную среду и их абсорбции в ДО способствует регулярное переувлажнение почвы водосбора [3], что типично для условий муссонного климата бассейна р. Амур и периодических наводнений. Переувлажнение почвы водосбора реки также обусловлено интенсивным заилением участков ее нижнего течения (створы 4, 5, 6), что способствует регулярным паводкам с затоплением ее поймы.

Во время увлажнения почвы восстановительные условия способствуют подвижности мышьяка за счет прямой редукции пентавалентного мышьяка в более токсичный трехвалентный [31, 34]. Активными редуктантами многих металлов и мышьяка являются соединения железа, что способствует их подвижности. В значительной степени цинк закрепляется (гидр)оксидами железа и фосфатами [2, 37]. Также в условиях переувлажнения при низком редокс-потенциале роль активных фаз-носителей действительно опасных тяжелых металлов: кобальта, никеля, бария, выполняют оксиды марганца, способствующие закреплению опасных тяжелых элементов в почве [1, 38]. Свинец прочно связан с органическим веществом ДО и почв, что объясняется его сродством со структурой гуминовых кислот и отличается от других тяжелых металлов [38].

По профилю почвы распределение металлов и мышьяка имело свои особенности. Если содержание  $C_{орг}$  и мелкодисперсной фракции в нижнем горизонте почвы закономерно снижалось, то распределение металлов и мышьяка носило обратный характер – увеличивалось с увеличением глубины профиля (рис. 4). Снижение содержания металлов и мышьяка в верхнем горизонте почвы может быть обусловлено их вымыванием из верхнего горизонта за счет поверхностного стока в русло реки, а также вследствие эрозии и потребления растениями.

В целом распределение концентраций металлов в компонентах системы “водоток и его водосбор” показывает тенденцию переноса веществ из компонентов ландшафта (почвы) в водоток. При этом в ДО происходит значительное, по сравнению с почвой накопление кадмия, мышьяка, свинца и цинка, что согласуется с результатами исследования других авторов [24].

Для оценки состояния водного объекта по загрязненности ДО использовался коэффициент донной аккумуляции (КДА), который рассчитывают для каждого вещества по формуле:

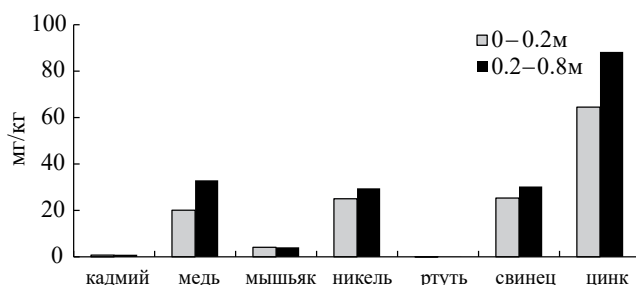


Рис. 4. Среднее содержание металлов и мышьяка в почве.

$КДА = C_1/C_2$  [22]. Использовали средние значения для каждого компонента (табл. 4). Коэффициенты донной аккумуляции железа, марганца и цинка характеризуют состояние как “поступление в водный объект свежего загрязнения”. По остальным исследуемым показателям в ДО, в том числе нефтепродуктам, экологическая обстановка водного объекта определена как “относительно удовлетворительная”.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сходство величин геохимических характеристик воды, ДО и почв системы “водоток и его водосбор” отражает влияние:

- климатических условий – мусонные дожди, паводки, способствующие стоку терригенного материала в русло реки;
- гидрологического режима – слабая проточность реки в меженный период;
- антропогенных факторов – поступление неконтролируемых стоков с. Тополево, разрушение дамбы пруда, в результате чего произошло обмеление реки и частичная трансформация дна реки в почвенное пространство.

Формирование химического состава воды р. Полежаевка происходит за счет поступления различных веществ с поверхностным стоком

Таблица 4. Коэффициент донной аккумуляции р. Полежаевка

Характеристика	Загрязняющие вещества									
	НП	Cd	Cu	As	Ni	Fe	Mn	Hg	Pb	Zn
Концентрация ЗВ в донных отложениях, $(C_1)$ , мкг/г	169.2	0.73	19.03	8.2	20.7	5000	136.0	0.055	40.1	215.0
Концентрация ЗВ в воде, $(C_2)$ , мкг/дм <sup>3</sup>	62	0.5	7.0	4.0	4.0	320	5.0	0.1	2.0	2.0
КДА	2.73	1.46	2.71	2.1	5.2	15.6	27.2	0.005	20.1	107.5
Экологическая обстановка по КДА	ОУ	ОУ	ОУ	ОУ	ОУ	ПЗ	ПЗ	ОУ	ПЗ	ПЗ

Примечание: ОУ (1–9) – относительно удовлетворительная, ПЗ (10–999) – поступление в водный объект свежего загрязнения, ВУ (1000–9999) – высокий уровень хронического загрязнения.

и в результате выщелачивания выстилающих долину осадочных пород. На это указывает величина интегрального показателя содержания растворенных веществ (УЭП), которая в воде выше, чем в ДО в 1.4, а в почве в 2.8 раза, а также идентичность качественного состава микроэлементов (металлы и мышьяк) в воде, ДО и почве. На участке нижнего течения определен вклад вносят нефтепродукты и фенолы, поступающие со стоками с. Тополево.

Донные отложения малой реки наследуют геохимические свойства почв и находятся в постоянном взаимодействии за счет поверхностного стока и регулярных паводков. Перераспределение мелкодисперсных фракций в ДО зависит от гидрологических условий участка реки (ширина русла, скорость течения). Доля частиц размером 0.01 мм в гранулометрическом составе ДО в среднем составляет 10.4%, в почве – 11.7%, что обуславливает относительно высокие концентрации  $C_{орг}$  в ДО (среднее 5.95%) и почве (среднее 8.1%).

В ДО происходит значительное, по сравнению с верхним горизонтом почвы накопление кадмия, мышьяка, свинца и цинка. Коэффициент донной аккумуляции по показателям, железа, марганца, свинца и цинка характеризуется как “поступление в водный объект свежего загрязнения”. Несмотря на относительно невысокие концентрации индивидуальных металлов и мышьяка в ДО, сочетание данных компонентов с высоким содержанием  $C_{орг}$  при регулярном их поступлении в р. Полежаевка создает условия для формирования в русле реки техногенных илов. Этому способствуют благоприятные геоморфологические условия в нижнем течении реки (расширение речной долины, формирование широкого пойменного русла, низкая скорость течения, понижение ее нижнего участка за счет стока пруда из-за разрушения дамбы).

Включение данного водотока в программу по рекультивации малых городских рек будет своевременным шагом, что будет способствовать его возвращению в систему городской рекреации.

*Авторы выражают благодарность в.н.с. М.И. Климину (ИВЭП ДВО РАН) за помощь в выполнении анализов.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водяницкий Ю.Н.* Оксиды марганца в почвах. М.: Почв. ин-т им. Докучаева, 2005. 95 с.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М.: Почв. ин-т им. Докучаева, 2009. 182 с.
3. *Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т.* Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: МГУ, 2012. 304 с.
4. *Вишкова Т.С., Никулина Т.В., Клышевская С.В. и др.* Проблемы загрязнения водотоков урбанизированных территорий и пути их решения на примере реки Вторая речка (Владивосток, Приморский край) //

- Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2021. С. 43–59.
5. *Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Иманова Е.Л. и др.* Особенности формирования органических соединений в грунтах и донных отложениях промзоны г. Хабаровск // *Геохимия*. 2021. № 5. С. 464–472.
  6. *Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Кириенко О.А.* Изучение состава и генезиса органического вещества донных отложений загрязненных малых водотоков территории г. Хабаровска // *Водные ресурсы*. 2023. № 2. С. 182–192.
  7. *Гаретова Л.А., Харитоновна Г.В., Иманова Е.Л. и др.* Влияние наводнения 2019 г. на абиотическую и биотическую структуру донных отложений и почв поймы р. Амур // *Геоэкология*. 2022. № 5. С. 61–72.
  8. ГОСТ 12536-2014. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.
  9. ГОСТ 26213-2021. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) состава. М.: Стандартинформ, 2021. 23 с.
  10. *Знаменщиков А.Н.* Определение структурно-группового состава и общего содержания углеводов в нефтях и нефтяных загрязнениях спектральными методами: дис. ... канд. хим. наук. Тюмень: ТГУ, 2012. 133 с.
  11. *Кислякова Е.Г.* Изучение геохимического поля экосистем малых рек // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. Вып. 13*. М.: РУДН, 2011. Ч. 2. С. 113–117.
  12. *Кошельков А.М., Матюшкина Л.А.* Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска // *Региональные проблемы*. 2018. № 2. С. 76–85.
  13. *Кремлева Т.А.* Геохимические факторы устойчивости водных систем к антропогенным нагрузкам: автореферат дис. ... д. хим. н. Тюмень: ТГУ, 2015. 60 с.
  14. *Кулаков В.В., Штенгелов Р.С., Матвеев Д.В.* Взаимодействие подземных и поверхностных вод в зоне Хабаровского водного узла // *Науки о Земле и недрапользование*. 2021. № 2. С. 151–158.
  15. *Махинов А.Н., Шугуан Лю, Ким В.И., Махинова А.Ф.* Особенности больших наводнений на реке Амур в период высокой водности 2009–2021 гг. // *Тихоокеанская география*. 2023. № 1. С. 66–74.
  16. *Никитина Л.И., Трибун М.М., Жуков А.В.* Индикационное значение цилиофауны малых рек окрестностей г. Хабаровск // *Вода: химия и экология*. 2012. № 9. С. 57–63.
  17. *Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н.* Проблемы диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // *Почвоведение*. 2003. № 9. С. 1132–1140.
  18. *Платонова Т.П., Пакушина А.П., Непрокина К.С., Панова Л.П.* Эколого-химическая характеристика малых рек города Благовещенска // *Экология урбанизированных территорий*. 2018. № 2. С. 21–27.
  19. ПНДФ 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных, органико-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектromетрии. М.: Госком. РФ по охране окружающей среды, 2005. 21 с.
  20. ПНДФ 16.1:2.3:3.44-05. Методика выполнения измерений массовой доли летучих фенолов в пробах почв, осадков сточных вод и отходов фотометрическим методом после отгонки водяным паром. М., 2005. 14 с.
  21. *Полянин В.О., Фащевская Т.Б., Словягина А.Н.* Особенности формирования и регулирования диффузного загрязнения в пределах городских территорий (на примере р. Яузы) // *Водные ресурсы*. 2023. № 1. С. 53–67.



22. Приказ № 112 от 24.02.2014 г. “Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов”.
23. *Рогозина Е.А.* Геохимические изменения в составе нефти при биодegradации // Разведка и охрана недр. 2010. № 4. С. 63–68.
24. *Селезнев А.А., Окунева Т.Г., Ярошенко И.В. и др.* Распределение и накопление тяжелых металлов в ландшафтной катене водосбора и донных отложениях водоема на урбанизированной территории // Известия УГГУ. 2023. № 1. С. 96–107.
25. *Фацевская Т.Б., Словягина А.Н., Полянин В.О., Алгушаева А.В.* Антропогенные изменения гидрохимического режима и качества воды городского водотока (на примере реки Лихоборки, Московский регион) // Водные ресурсы. 2023. № 2. С. 203–217.
26. *Фишер Н.К., Гаретова Л.А., Иманова Е.Л. и др.* Оценка экологического состояния малых рек центральной части Хабаровска в период снеготаяния // Региональные проблемы. 2018. № 3. С. 35–44.
27. *Шевченко М.А.* Экологические проблемы малых рек России // Чистая вода: проблемы и решения. 2009. № 1. С. 84–87.
28. *Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М.* Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология. 2019. № 3. С. 42–51.
29. *Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.* Многолетняя изменчивость стока нитратного и нитритного азота в р. Амур у Хабаровска // Водные ресурсы. 2014. № 4. С. 412–418.
30. *Anh N.T., Can L.D., Nhan N.T. et al.* Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023. V. 8: 100424.
31. *Beauchemin S., Kwong Y.T.J.* Impact of redox conditions on arsenic mobilization from tailings in a wetland with neutral drainage // Environmental Science & Technology. 2006. V. 40. P. 6297–6303.
32. *Engloner A.I., Németh K., Dobosy P., Óvári M.* Exploring the trend effects of diffuse anthropogenic pollution in a large river passing through a densely populated area // Heliyon. 2023. V. 9: e20120.
33. *Fang T., Wang H., Liang Y., Cui K. et al.* Source tracing with cadmium isotope and risk assessment of heavy metals in sediment of an urban river, China // Environmental Pollution. 2022. V. 305: 119325.
34. *Goldberg S., Glaubig R.A.* Anion sorption on a calcareous, montmorillonitic soil-arsenic // Soil Science Society of America Journal. 1998. V. 52. P. 1297–1300.
35. *Huang Z., Liu C., Zhao X., Dong J., Zheng B.* Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China // Environmental Sciences Europe. 2020. V. 32. 23.
36. *Khairabadi O., Shirmohamadi V., Sajadzadeh H.* Understanding the mechanism of regenerating urban rivers through exploring the lived experiences of residents: A case study of Abbas Abad River in Hamadan // Environmental Development. 2023. V. 45: 100801.
37. *Manceau A., Marcus M.A., Tamura N. et al.* Natural speciation of Zn at the micrometer scale in a clay soil using X-ray fluorescence, absorption, and diffraction // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. V. 68. P. 2467–2483.
38. *Manceau A., Marcus M.A., Tamura N.* Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques // Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Washington, DC. 2002. V. 49. P. 341–428.
39. *Tort-Donada J., Santasusagna A., Rode S., Vadri M.T.* Bridging the gap between city and water: A review of urban-river regeneration projects in France and Spain // Science of The Total Environment. 2020. V. 700: 134460.

## ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF WATERFLOW AND ITS WATERSHED SYSTEM OF POLEZHAEVKA SMALL RIVER (AMUR RIVER BASIN)

L. A. Garetova<sup>a,#</sup>, E. L. Imranova<sup>a</sup>, N. K. Fisher<sup>a</sup>, A. M. Koshelkov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva 56, Khabarovsk, 680000 Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Mining Engineering, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Turgeneva 51, Khabarovsk, 680000 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: gar-va1948@mail.ru*

The content of dissolved substances,  $C_{org}$ , hydrocarbons, phenols, toxic metals and arsenic are studied in water, bottom sediments and soil of the catchment area of the small urban river Polezhaevka (Khabarovsk). A positive relationship is revealed between the content of  $C_{org}$  and the fraction of 0.01 mm particles in soil. Along the vertical profile of the soil, a decrease in  $C_{org}$  is accompanied by an increase in the content of metals (cadmium, copper, nickel, mercury, lead, zinc) and arsenic. The content of hydrocarbons in water did not exceed 0.18 mg/dm<sup>3</sup> (3.6 MPC); in bottom sediments they were within the limits of permissible hydrocarbon overload of self-purifying capacity  $C_{HC}/C_{org} = 0.07–0.43$ ; and their content did not exceed 141.6 mg/kg in soil. The coefficient of bottom accumulation in terms of iron, manganese, lead and zinc is characterized as “the entry of fresh pollution into a water body.” The information obtained is useful for assessing the geochemical consequences of flooding the floodplains of small rivers and for planning measures on revitalization of urban small rivers.

**Keywords:** *small river, urbanized areas, bottom sediments, soil, organic carbon, hydrocarbons, metals, arsenic*

## REFERENCES

- Vodyanitskii, Yu.N. [Manganese oxides in soils]. Moscow, Dokuchaev Soil Science Institute Publ., 2005, 95 p. (in Russian)
- Vodyanitskii, Yu.N. [Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils]. Moscow, Dokuchaev Soil Science Institute Publ., 2009, 182 p. (in Russian)
- Vodyanitskii, Yu.N., Ladonin, D.V., Savichev, A.T. [Soil contamination with heavy metals]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2012, 304 p. (in Russian)
- Vshivkova, T.S., Nikulina, T.V., Klyshevskaya, S.V. et al. [Problems in pollution of watercourses in urbanized areas and ways to solve them by the example of Vtoraya rechka River (Vladivostok, Primorsky Krai)]. Proc. of readings in commemoration of V.Ya. Levanidov. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2021, pp. 43–59. (in Russian)
- Garetova, L.A., Fisher, N.K., Imranova, E.L., et al. Features of formation of organic compounds in the ground and bottom sediments within the industrial zone of Khabarovsk. *Geochemistry International*, 2021, no. 5, pp. 528–536.
- Garetova, L.A., Fisher, N.K., Kirienko, O.A. Studying the composition and genesis of organic matter in bottom sediments of polluted small watercourses in Khabarovsk city territory. *Water Resources*, 2023, no. 2, pp. 297–306.
- Garetova, L.A., Kharitonova, G.V., Imranova, E.L., et al. [The impact of the 2019 flood on the abiotic and biotic structure of bottom sediments and soils in the Amur River floodplain]. *Geoekologiya*, 2022, no. 5, pp. 61–72. (in Russian)
- [GOST 12536-2014 Soils. Methods for determining organic matter]. Moscow, Russian Institute of Standardization, 2021, 11 p. (in Russian)
- [GOST 26213-2021 Soils. Methods for laboratory determination of granulometric (grain) composition]. Moscow, Standardinform Publ., 2021, 23 p. (in Russian)
- Znamenshchikov, A.N. [Determination of the structural-group composition and total content of hydrocarbons in oils and oil pollution by spectral methods]. Extended Abstract of Doctoral (Chem.) Dissertation, Tyumen, TGU Publ., 2012, 133 p. (in Russian)
- Kislyakova, E.G. [Study of the geochemical field of ecosystems of small rivers]. In: [Current problems of ecology and environmental management. Collection of Sci. Articles]. Moscow, RUDN Publ., 2011. vol. 13, chapter 2, pp. 113–117. (in Russian)
- Koshel'kov, A.M., Matyushkina, L.A. [Assessment of chemical contamination of soils in water protection zones of small rivers in the city of Khabarovsk]. *Regional'nye problemy*, 2018, no. 2, pp. 76–85. (in Russian)
- Kremleva, T.A. [Geochemical factors of resistance of aquatic systems to anthropogenic loads]. Extended Abstract of Doctoral (Chem.) Dissertation, Tyumen, TGU Publ., 2015, 60 p. (in Russian)
- Kulakov, V.V., Shtengelov, R.S., Matveenko, D.V. [Interaction of groundwater and surface water in the Khabarovsk water hub area]. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2021, no. 2, pp. 151–158. (in Russian)
- Makhinov, A.N., Shuguan Lyu, Kim, V.I., Makhinova, A.F. [Features of large floods on the Amur River during the highwater period in 2009–2021]. *Tikhookeanskaya geografiya*, 2023, no. 1, pp. 66–74. (in Russian)
- Nikitina, L.I., Tribun, M.M., Zhukov, A.V. [Indicative value of cili fauna in small rivers in the vicinity of Khabarovsk]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2012, no. 9, pp. 57–63. (in Russian)
- Pikovskii, Yu. I., Gennadiev, A.N., Chernyanskii, S.S., Sakharov, G.N. [Problems of diagnostics and regulation of soil pollution with oil and petroleum products]. *Pochvovedenie*, 2003, no. 9, pp. 1132–1140. (in Russian)
- Platonova, T.P., Pakusina, A.P., Neprokina, K.S., Panova, L.P. [Ecological and chemical characteristics of small rivers of the city of Blagoveshchensk]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2018, no. 2, pp. 21–27. (in Russian)
- [PNDF 16.1:2.2:22-98. Methodology for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organogenic, organo-mineral soils and bottom sediments using the IR spectrometry method]. Moscow, Russian State Committee on environment conservation, 2005, 21 p. (in Russian)
- [PNDF 16.1:2.3:3.44-05. Methodology for measuring the mass fraction of volatile phenols in soil samples, sewage sludge and waste using the photometric method after steam distillation]. Moscow, 2005, 14 p. (in Russian)
- Polyanin, V.O., Fashchevskaya, T.B., Slovyagina, A.N. Specific features of the formation and regulation of diffuse pollution in urban areas: case study of the Yauza River. *Water Resources*, 2023, no. 1, pp. 82–95.
- [Order no. 112, dated February 24, 2014 “On approval of the Methodological Instructions for the implementation of state monitoring of water bodies in terms of organizing and conducting observations of the content of pollutants in bottom sediments of water bodies”]. (in Russian)
- Rogozina, E.A. [Geochemical changes in the composition of oil during biodegradation]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 4, pp. 63–68. (in Russian)
- Seleznev, A.A., Okuneva, T.G., Yarmoshenko, I.V., et al. [Distribution and accumulation of heavy metals in the landscape catena of a watershed and bottom sediments of a reservoir in an urbanized area]. *Izvestiya UGGU*, 2023, no. 1, pp. 96–107. (in Russian)
- Fashchevskaya, T.B., Slovyagina, A.N., Polyanin, V.O., Algushaeva, A.V. Anthropogenic changes in the hydrochemical regime and water quality in an urban watercourse: case study of the Likhoborka River, Moscow region. *Water Resources*, 2023, no. 2, pp. 302–316.
- Fisher, N.K., Garetova, L.A., Imranova, E.L., et al. [Assessment of the ecological state of small rivers in the central part of Khabarovsk during the snowmelt period]. *Regional'nye problemy*, 2018, no. 3, pp. 35–44. (in Russian)
- Shevchenko, M.A. [Environmental problems of small rivers in Russia]. *Chistaya voda: problemy i resheniya*, 2009, no. 1, pp. 84–87. (in Russian)
- Shesterkin, V.P., Afanas'eva, M.I., Shesterkina, N.M. [Features of water quality in small rivers of Khabarovsk in winter]. *Geoekologiya*, 2019, no. 3, pp. 42–51. (in Russian)
- Shesterkin, V.P., Shesterkina, N.M. Long-term variability of nitrate and nitrite nitrogen runoff in the Amur River near Khabarovsk. *Water Resources*, 2014, no. 4, pp. 439–445. (in Russian)
- Anh, N.T., Can, L.D., Nhan, N.T. et al. Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2023, vol. 8, paper 100424.
- Beauchemin, S., Kwong, Y.T.J. Impact of redox conditions on arsenic mobilization from tailings in a wetland with neutral drainage. *Environmental Science & Technology*, 2006, vol. 40, pp. 6297–6303.
- Engloner, A.I., Németh, K., Dobosy, P., Óvári, M. Exploring the trend effects of diffuse anthropogenic pollution in a large river passing through a densely populated area. *Heliyon*, 2023, vol. 9, paper e20120.
- Fang, T., Wang, H., Liang, Y., Cui, K., et al. Source tracing with cadmium isotope and risk assessment of heavy metals in sediment of an urban river, China. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 305, paper 119325.
- Goldberg, S., Glaubig, R.A. Anion sorption on a calcareous, montmorillonitic soil-arsenic. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, vol. 52, pp. 1297–1300.

35. Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., et al. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China, *Environmental Sciences Europe*, 2020, vol. 32, paper 23.
36. Khairabadi, O., Shirmohamadi, V., Sajadzadeh, H. Understanding the mechanism of regenerating urban rivers through exploring the lived experiences of residents: A case study of Abbas Abad River in Hamadan, *Environmental Development*, 2023, vol. 45, paper 100801.
37. Manceau, A., Marcus, M.A., Tamura, N., et al. Natural speciation of Zn at the micrometer scale in a clay soil using X-ray fluorescence, absorption, and diffraction, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004, vol. 68, pp. 2467–2483.
38. Manceau, A., Marcus, M.A., Tamura, N. Quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques. Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Washington, DC, 2002, vol. 49, pp. 341–428.
39. Tort-Donada, J., Santasusagna, A., Rode, S., Vadri, M.T. Bridging the gap between city and water: A review of urban-river regeneration projects in France and Spain. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 700, paper 134460.