

## ВЛИЯНИЕ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДА СИБАЙ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Э.Э. Папян<sup>1</sup>, С.Р. Баимова<sup>2</sup>, Р.Ф. Хасанова<sup>2</sup>, Г.Р. Ильбулова<sup>1</sup>, В.В. Сомов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сибайский институт (филиал) Уфимского университета науки и технологий,  
Сибай, Россия, e-mail: elza.papyan@yandex.ru

<sup>2</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,  
Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** Влияние горнорудного производства на состояние городов, расположенных вблизи карьеров и хвостохранилищ, требует геоэкологической оценки природных компонентов окружающей среды в целях мониторинга загрязнения. С этой целью был изучен химический состав почвенного покрова в окрестностях города Сибай (Республика Башкортостан). Район исследования находится в пределах Красноуральско-Сибай-Гайской меднорудной зоны, обуславливающей накопление тяжелых металлов (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в почвах. Для определения уровня загрязнения почвенного покрова и путей миграции тяжелых металлов отбирали пробы почв, растения вида-индикатора *Populus nigra* L. и снежного покрова. Результаты проведенных анализов показали, что почвы города отличаются повышенным валовым содержанием Cu, Zn, Fe, Ni, Mn и их подвижных форм. Образцы *Populus nigra* характеризуются накоплением большинства изученных тяжелых металлов и превышением кларка растений по В.В. Добровольскому, за исключением Mn и Pb. Все элементы в исследуемых пробах обладают низкой интенсивностью биологического поглощения. Отмечено, что соотношение подвижных форм тяжелых металлов в почве и в образцах *Populus nigra* на пробных площадках различается. Концентрации тяжелых металлов в снеге нарушенных территорий отвечают нормам питьевой воды. Химический состав почв изменяется в зависимости от содержания в них тяжелых металлов, поступление которых в весенне-летний период осуществляется за более короткий промежуток времени, нежели зимой.

**Ключевые слова:** геоэкологическая оценка, почвы, вид-индикатор, *Populus nigra* L., снежный покров, Сибай, тяжелые металлы, загрязнение, техногенез.

**Благодарность:** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-00017).

**Для цитирования:** Папян Э. Э., Баимова С. Р., Хасанова Р. Ф., Ильбулова Г. Р., Сомов В. В. Влияние горнорудного производства на химический состав почвенного покрова города Сибай (Республика Башкортостан) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 4. – С. 88–103. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_4\_0\_88.

---

## Impact of mining practices on chemical composition of soil cover in the Sibai city area in the Republic of Bashkortostan

E.E. Papyan<sup>1</sup>, S.R. Baimova<sup>2</sup>, R.F. Khasanova<sup>2</sup>, G.R. Ilbulova<sup>1</sup>, V.V. Somov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sibay Institute (branch) of Ufa University of Science and Technology, Sibay, Russia, e-mail: elza.papyan@yandex.ru

<sup>2</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>3</sup> Institute of Earth Sciences of the Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg Russia

---

**Abstract:** Impact exerted by mining practices on urban areas nearby open pits and tailings ponds calls for the geological appraisal of the components of natural environment toward pollution monitoring. To that end, the chemical composition of the soil cover in the Sibai city area in the Republic of Bashkortostan was analyzed. The test area occurs within the limits of the Krasnouralsk–Sibai–Gai copper ore province, which conditions accumulation of heavy metals (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in soil. With a view to finding the soil cover pollution degree and heavy metal migration paths, the scope of sampling embraced soil, plants of the type of species–indicator *Populus nigra* L. and snow cover. The analysis shows that the soil cover in the test city areas features a high total content of Cu, Zn, Fe, Ni, Mn and their mobile forms. The samples of *Populus nigra* L. accumulate the most of the test heavy metals and have a higher abundance ratio as compared with other plants by V.V. Dobrovolsky, except for Mn and Pb. All elements in the test samples have low intensity of biological uptake. The ratio of mobile heavy metals in soil and in *Populus nigra* L. samples differ on different test sites. The concentrations of heavy metals in snow in the test area agree with the drinkable water standards. The chemical composition of soil changes depending on the content of heavy metals which enter soil in the spring–summer period within a shorter time span than in winter.

**Key words:** geoecological appraisal, soil, species–indicator, *Populus nigra* L., snow cover, Sibai, heavy metals, contamination, technogenesis.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-77-00017.

**For citation:** Papyan E. E., Baimova S. R., Khasanova R. F., Ilbulova G. R., Somov V. V. Impact of mining practices on chemical composition of soil cover in the Sibai city area in the Republic of Bashkortostan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(4):88-103. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_4\_0\_88.

---

### Введение

Геоэкологическая оценка природной среды включает в себя изучение изменений, происходящих в ее компонентах [1, 2] в результате действия антропогенных веществ [3, 4]. В ее основе лежит системный подход [5], включающий в себя ландшафтно-экологический анализ тесно взаимодействующих трансграничных территорий [6]. Особое значение при этом уделяется изучению содержа-

ния и миграции тяжелых металлов в почвах [7], растительности [8, 9] и снежном покрове [10]. Город Сибай расположен в непосредственной близости от Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината, в состав которого входят Сибайский и Камаганский карьеры, хвостохранилище, обогатительная фабрика, очистные сооружения. Деятельность комбината по добыче медно-цинковой руды на сегодняшний

день приостановлена после 80 лет эксплуатации. В городе имеются и другие объекты малых и средних предприятий, к которым относятся объекты ОАО «Башкирский медно-серный комбинат» (БМСК), теплоэлектростанция (ТЭЦ), автотранспорт и другие. Научно-исследовательские работы, проводимые более 20 лет, показывают наличие концентраций тяжелых металлов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) в компонентах природно-территориальных комплексов [11]. На количество тяжелых металлов в почвах, помимо прямого техногенного загрязнения, влияет наличие на территории исследования естественной геохимической аномалии с высоким содержанием Cu, Zn и Cd [12].

Одной из задач исследования являлось изучение химического состава почвы. Следующая задача представляла собой анализ поступления тяжелых металлов в почву. Для ее решения были отобраны пробы растений, а именно вида-индикатора тополя *Populus nigra*, и снежного покрова. При выборе объектов исследования учитывалась способность растений поглощать химические элементы из почв и атмосферы, определяющая процесс трансформации потока тяжелых металлов (ТМ), меняющая физико-химические параметры в системе «почва–растение» [13, 14]. Химический состав снежного покрова позволяет оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха [10]. Исходя из поставленных задач, основной целью исследования является изучение химического состава почв г. Сибай и пути трансформации потока тяжелых металлов в системах «почва–растения» и «почва–снежный покров».

### **Материалы и методы**

Исследования проводились на территории и в окрестностях города Сибай.

Пробы почв, растений и снежного покрова отбирались с пробных площадей, которые были заложены на различном удалении от источника воздействия. По силе техногенной нагрузки, а также с учетом особенностей рельефа, климатических условий, особенностей почвы, наличия или отсутствия поверхностных и подземных вод пробные площадки были разбиты на условно фоновую (п. Мукасово, Баймакский район, расположенный в 10 км на северо-запад от г. Сибай), участки со слабым антропогенным воздействием (с. Старый Сибай (профиль и участок у р. Карагайлы)) и антропогенно нарушенные площадки (отвалы Сибайского карьера в п. Горный, г. Сибай; Зилаирское шоссе; д. Калинино и хвостохранилище). В черте самого города образцы почв и тополя (корка и листья) отбирались в п. Горный, в непосредственной близости от отвалов Сибайского карьера; вниз по ул. Баймакская, проходящей вблизи отвалов и очистных сооружений; в 3-м Микрорайоне города, рядом с автотрассой и железнодорожными путями; на ул. Матросова, около железнодорожного вокзала; в селитебной зоне г. Сибай, на ул. Маяковского и ул. Ленина, недалеко от ТЭЦ, в зоне влияния обогатительной фабрики.

Количество тяжелых металлов в почвах, частях тополя и снеговой воде выявляли в Центральной лаборатории Сибайского филиала АО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

Полученные результаты исследования сопоставляли с ориентировочными допустимыми концентрациями (ОДК, ГН 2.1.7.2511-09) и предельно допустимыми концентрациями (ПДК, ГН 2.1.7.2041-06), кларком растений по В.В. Добровольскому, предельно допустимыми концентрациями рыбохозяйственного значения и питьевой воды [15]. Значение состоя-

ния почв, обусловленное количеством ТМ, было дано в соответствии с Руководством по санитарно-химическому исследованию почвы [16, 17]. Анализ возможности использования почв, в зависимости от содержания тяжелых металлов и вероятности угнетения почв, проводился по принятым нормам эколого-гигиенического состояния почв, с расчетом показателя суммарного загрязнения (Zс) [18]. Степень привлечения химических элементов в биологический круговорот рассчитывали по коэффициенту биологического поглощения ( $K_b$ ) [19–21]. Для изучения особенностей

наличия ТМ в снежном покрове рассчитывался показатель суммарного загрязнения [10].

## Результаты

### Химический состав почв

На площадках в городе значения рН почв находятся в пределах от 7,6 до 8,5. При увеличении этих значений происходит усиление подвижности ТМ в связи с образованием комплексных соединений.

Результаты химического анализа почв пробных участков г. Сибай показали, что валовое содержание Си превышает

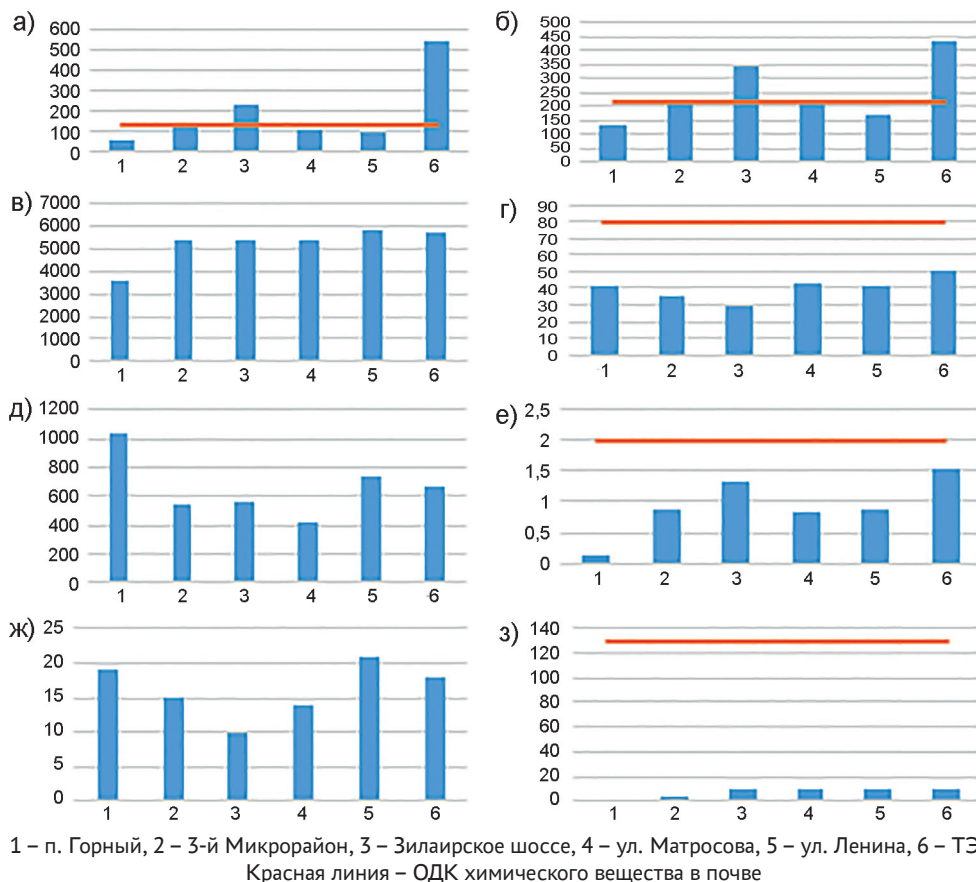


Рис. 1. Валовое содержание тяжелых металлов в образцах почвы г. Сибай, мг/кг: медь (а); цинк (б); железо (в); никель (г); марганец (д); кадмий (е); кобальт (ж); свинец (з)

Fig. 1. Gross content of heavy metals in soil samples of Sibai, mg/kg: Copper (a); Zinc (b); Iron (v); Nickel (g); Manganese (d); Cadmium (e); Cobalt (zh); Lead (z)

ОДК в трех точках (рис. 1). Наибольшее превышение наблюдается в районе ТЭЦ — в 4 раза, а также около Зилаирского шоссе — в 2 раза. На ул. Матросова значение  $Cu$  находится на уровне ОДК. Превышение содержания  $Zn$  в валовой форме по отношению к ОДК отмечено на двух пробных площадках. Наибольшее превышение отслеживается в районе ТЭЦ — примерно в 3 раза, следом на участке около Зилаирского шоссе — в 2 раза. Высокие значения валового содержания  $Fe$  в почве г. Сибай выявлены на участках по ул. Ленина и в районе ТЭЦ. Минимальные значения характер-

ны для точки отбора в п. Горный. Валовое содержание  $Ni$ ,  $Cd$  и  $Pb$  в образцах почвы не превышает ОДК ни в одной из отобранных точек г. Сибай. Валовое содержание  $Mn$  в почвах в п. Горном имеет самые высокие значения по городу. В п. Горный, в районе ТЭЦ и на ул. Ленина значения валового содержания  $Co$  выше по сравнению с остальными пробами из отобранных пробных площадок.

Концентрация подвижной формы  $Cu$  в почвах г. Сибай превышает ПДК на всех изученных испытательных участках (рис. 2). Максимальные концентрации зафиксированы в 3-м Микрорайоне,

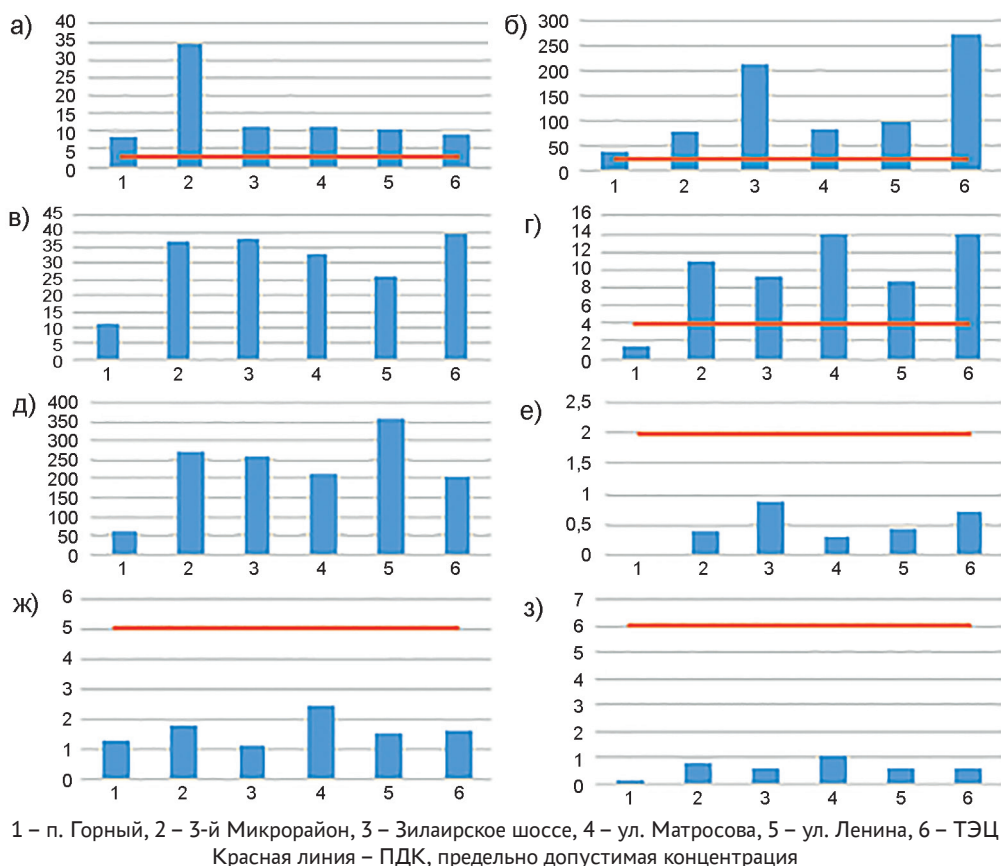


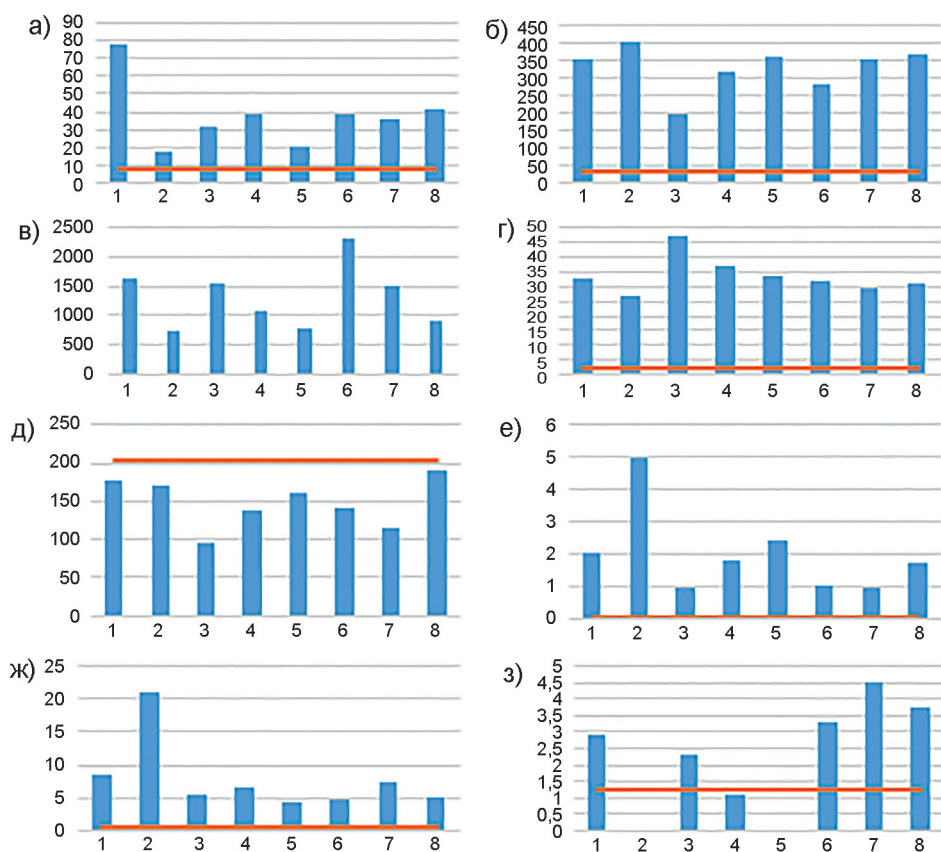
Рис. 2. Концентрации подвижных форм тяжелых металлов в образцах почвы г. Сибай, мг/кг: медь (а); цинк (б); железо (в); никель (г); марганец (д); кадмий (е); кобальт (ж); свинец (з)

Fig. 2. Concentrations of mobile forms of heavy metals in soil samples from Sibai, mg/kg: Copper (a); Zinc (b); Iron (v); Nickel (g); Manganese (d); Cadmium (e); Cobalt (zh); Lead (z)

почти в 13 раз выше нормы, в остальных образцах почв выявлено превышение в 3 раза. В подвижной форме Zn превышения фиксируются во всех точках.

Максимальные значения, выше ПДК в 12 раз, отмечаются около ТЭЦ, почти в 9 раз выше ПДК — у Зилаирского шоссе. В п. Горном зафиксированы самые низкие концентрации Zn, которые находятся на уровне ПДК. Высокие значения подвижной формы Fe в почве г. Сибай выявлены на участках в районе ТЭЦ, 3-го Микрорайона и Зилаирского шоссе, что в среднем составляет 38 мг/кг. Пре-

вышение ПДК было отмечено во всех точках в подвижной форме Ni, за исключением п. Горный. Максимальное превышение нормы — в 3,5 раза — наблюдается в точках отбора ТЭЦ и ул. Матросова. Концентрации подвижной формы Mn не превышают ПДК во всех точках. Наибольшие значения характерны для почв на пробной площадке. При норме содержания Cd в почве 2,0 мг/кг, превышения отсутствовали во всех точках отбора проб. Не было отмечено превышение нормы и в подвижной форме Co и Pb в почвах исследуемых проб.



1 – п. Горный, 2 – 3-й Микрорайон, 3 – Зилаирское шоссе, 4 – ул. Матросова, 5 – ул. Ленина, 6 – ТЭЦ  
Красная линия – кларк растений по В.В. Добровольскому

Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в коре *Populus nigra* L., мг/кг: медь (а); цинк (б); железо (в); никель (г); марганец (д); кадмий (е); кобальт (ж); свинец (з)

Fig. 3. The content of heavy metals in the bark of *Populus nigra* L., mg/kg: Copper (a); Zinc (b); Iron (v); Nickel (g); Manganese (d); Cadmium (e); Cobalt (zh); Lead (z)

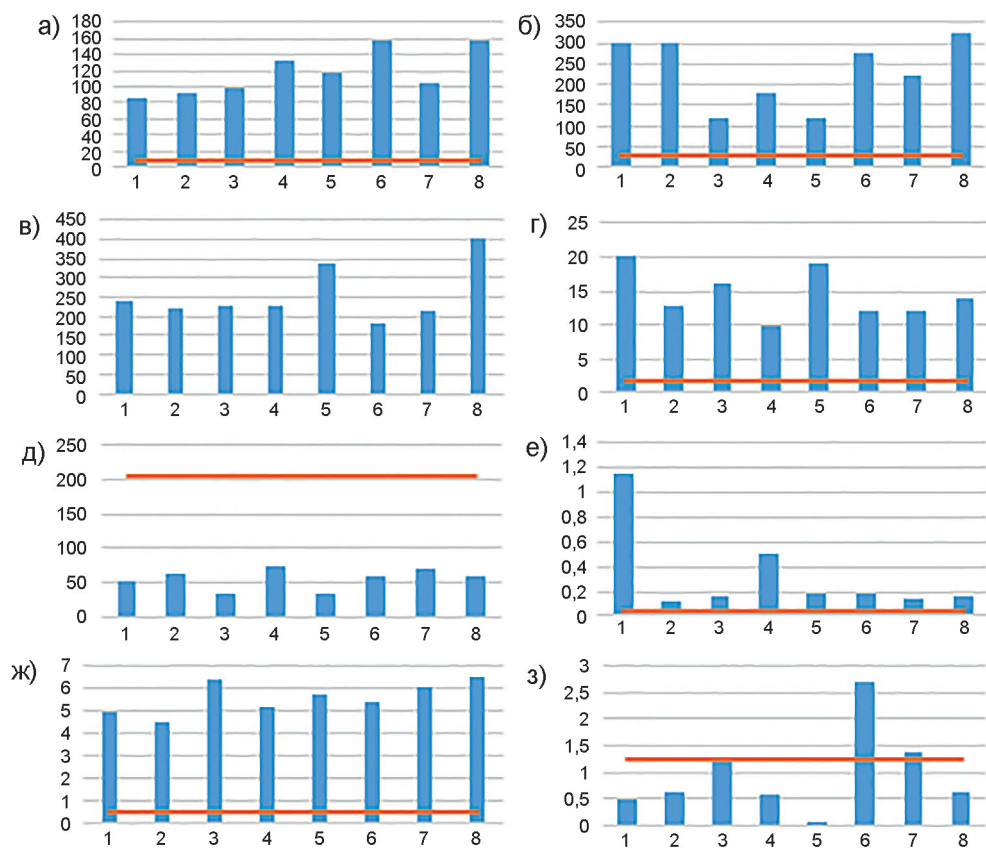
*Химический состав тополя  
Populus nigra*

Данные химического анализа тополя показали, что растительные образцы отличаются накоплением большинства изученных ТМ и превышением кларка растений по В.В. Добровольскому, за исключением Mn.

Возникновение загрязнения напрямую зависит, в первую очередь, от разработки объектов горнорудного комплекса, а также обусловлено влиянием эксплуатации ТЭЦ и автотранспорта (см. рис. 3, 4).

Наибольшее содержание Си в коре *Populus nigra* обнаружено в п. Горный, оно в 9 раз превышает кларк растений. Кора тополя на пробной площадке по ул. Маяковского содержит Си в 8 раз больше кларка. Отмечены высокие значения Си в коре на участках, расположенных на ул. Матросова, пр. Горняков, Зилаирском шоссе, в районе вокзала, ТЭЦ и 3-го Микрорайона.

Значения превышают кларк растения в 5 раз на ул. Матросова, в 4 раза на пр. Горняков, Зилаирском шоссе и в районе вокзала, в 2,5 раза вблизи ТЭЦ и в



1 – п. Горный, 2 – 3-й Микрорайон, 3 – Зилаирское шоссе, 4 – ул. Матросова, 5 – ул. Ленина, 6 – ТЭЦ  
Красная линия – кларк растений по В.В. Добровольскому

Рис. 4. Содержание тяжелых металлов в листьях *Populus nigra* L., мг/кг: медь (а); цинк (б); железо (в); никель (г); марганец (д); кадмий (е); кобальт (ж); свинец (з)

Fig. 4. The content of heavy metals in the leaves of *Populus nigra* L., mg/kg: Copper (a); Zinc (b); Iron (v); Nickel (g); Manganese (d); Cadmium (e); Cobalt (zh); Lead (z)

2 раза на территории 3-го Микрорайона. Концентрация Zn в растительных образцах во всех пробных площадках намного выше кларка, превышает его в 16 раз. Наибольшее количество наблюдается в растениях 3-го Микрорайона, ул. Маяковского, в районе ТЭЦ и в п. Горный. Наибольшее количество Fe обнаружено в коре тополя в районе пр. Горняков, п. Горный, вокзала и Зилаирского шоссе.

Средние содержания Ni в частях тополя превышают кларк растений во всех экспериментальных точках города более чем в 16 раз. Наибольшее превышение отмечено по Зилаирскому ш., ул. Матросова, ТЭЦ и пр. Горняков. Содержание Mn в растительных материалах ни в одной из точек не достигает показателей кларка.

Концентрации Cd превосходят кларк растений по Добровольскому во всех точках отбора. Наибольшее превышение зафиксировано в коре тополя 3-го Микрорайона. Со значительно, в 16 раз, выше содержания кларка растений в коре на всех пробных площадках. Наибольшее превышение отмечено на участках 3-го Микрорайона, п. Горный и вокзала. Концентрация Pb относительно кларка увеличивается в отобранных пробах во всех участках, кроме 3-го Микрорайона и ул. Матросова. Наиболее высокие содержания Pb выявлены в коре тополя около вокзала, что обусловлено влиянием авто- и железнодорожного транспорта.

#### *Химический состав листьев тополя*

Характеризуется высоким содержанием Cu, которое в среднем превышает кларк растений во всех точках отбора в 14 раз. Максимальное содержание Cu отмечено на территориях пр. Горняков, ул. Матросова и Маяковского. По содержанию Zn наиболее загрязненными местами являются ул. Маяковского, 3-й

Микрорайон и п. Горный (см. рис. 4.); средние значения Zn больше кларка растений в 8 раз. Наибольшее содержание Fe в листьях *Populus nigra* обнаружено на ул. Маяковского. Отмечены высокие значения Ni в листьях на участках, расположенных в п. Горный, около ТЭЦ и Зилаирского шоссе. Данные значения превышают кларк растений в 10 раз на пробной площадке в п. Горный и в 8 раз на участках около ТЭЦ и Зилаирского шоссе. Содержание Mn и Pb в растительных образцах не больше значений кларка растений. Наиболее высокие значения Mn зафиксированы около вокзала. Количество Cd превышает кларк растений в целом по всему городу.

Наибольшее превышение зафиксировано в листьях тополя на пробной площадке в п. Горный. Содержание Co в листьях значительно выше кларка — в 11 раз. Наибольшее превышение отмечено на ул. Маяковского и около вокзала.

#### *Химический состав снежного покрова*

Снежная вода фоновой территории имела величину водородного показателя, равную 7,26 (таблица), что свидетельствует о небольшом уклоне в щелочную сторону и соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21, согласно которым этот показатель находится в пределах от 6 до 9. Минерализация в п. Мукасово составила 8,0 мг/л, это легко вписывается в нормы ПДК питьевой воды. Наибольшая концентрация минерализации наблюдается в ПК 1 п. Горный (24,8 мг/л). Для д. Калинино выявлена наименьшая концентрация, в остальном показатель минерализации нарушенных участков изменяется в пределах от 13,6 до 22,2 мг/л, что отвечает требованиям для ПДК питьевой воды.

Результаты химического анализа снеговой воды фоновой территории показали превышение концентраций Cu по



### Heavy metal content in snow water

#### Содержание тяжелых металлов в снеговой воде

№ п/п	Наименование пробы	pH	Минерализация, мг/л	мг/дм <sup>3</sup>							
				Cu	Zn	Fe	Ni	Mn	Cd	Co	Pb
1	п. Мукасово	4,8	8	0,009	0,125	0,432	0,024	0,047	0,001	<0,001	<0,001
2	п. Горный ПК1	7,1	24,8	0,023	0,087	3,31	0,018	0,075	0,002	<0,001	0,008
3	п. Горный ПК2	5,4	17,5	0,016	0,069	1,0	0,020	0,059	<0,001	<0,001	<0,001
4	п. Горный ПК3	6,0	22,2	0,019	0,069	0,927	0,022	0,051	0,001	0,001	<0,001
5	Зилаирское ш.	5,9	21,1	0,037	0,131	0,908	0,005	0,070	<0,001	<0,001	<0,001
6	с. Старый Сибай ПК 1	6,1	15,9	0,003	0,076	0,57	0,015	0,058	0,002	<0,001	<0,001
7	с. Старый Сибай ПК 2	5,9	14	0,012	0,048	0,712	0,017	0,077	<0,001	<0,001	<0,001
9	д. Калинино	6,3	13,6	0,010	0,129	0,367	0,022	0,042	0,001	0,001	<0,001
10	Хвостохранилище	6,5	21	0,009	0,037	0,682	0,013	0,044	0,001	<0,001	<0,001

сравнению с ПДК для объектов рыбохозяйственного значения в 9 раз. В питьевой воде превышения ПДК не обнаружено. Содержание Zn больше ПДК для участков рыбохозяйственного значения в 12,5 раза и ниже ПДК для питьевой воды.

По Fe отмечено превышение обоих показателей — ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения и питьевой воды в 4,32 и 1,44 раза соответственно. Содержание Ni в снежном покрове выше ПДК для объектов рыбохозяйственного значения в 2,4 раза, а ПДК питьевой воды в 1,2 раза. Превышение Mn выявлено по ПДК для объектов рыбохозяйственного значения в 4,7 раза, но значительно ниже ПДК для питьевой воды. Лишь только в случае Cd не происходит нарушение норм ПДК. По сравнению с ПДК для питьевой воды, концентрация находится на уровне превышения нормы.

Исходя из расчетов химического анализа нарушенных пробных площадок в случае с концентрацией Cu, фиксируется превышение показателя ПДК для объектов рыбохозяйственного значения

во всех участках: в с. Старый Сибай (профиль) в 3 раза, около хвостохранилища в 9 раз, в д. Калинино в 10 раз, в с. Старый Сибай (у р. Карагайлы) в 12 раз, в п. Горный ПК 2 в 16 раз, в п. Горный ПК 3 в 19 раз, в п. Горный ПК 1 в 23 раз и на участке рядом с Зилаирским шоссе в 37 раз; нарушение норм ПДК для питьевой воды не происходит не на одной пробной площадке.

Превышение содержания Zn относительно ПДК для объектов рыбохозяйственного значения характерны для всех участков: около хвостохранилища выше в 3,7 раза, в с. Старый Сибай (у р. Карагайлы) в 4,8 раза, в п. Горный ПК 2 и ПК 3 в 6,9 раза; в с. Старый Сибай (профиль) в 7,6 раза, в п. Горный ПК 1 в 8,7 раза, в д. Калинино 12,9 раза, возле Зилаирского шоссе в 13,1 раза. Содержание изученных ТМ ниже ПДК для питьевой воды на всех нарушенных пробных площадках. Количество Fe выше показателя ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения и ПДК для питьевой воды во всех пробных площадках: в д. Калинино выше в 3,67 и 1,2 раза соответственно, с. Старый Сибай (про-

филь) в 5,7 и 1,9 раза, около хвостохранилища в 6,82 и 2,27 раза, в с. Старый Сибай (у р. Карагайлы) в 7,12 и 2,27 раза, возле Зилаирского шоссе в 9,27 и 3,02 раза, в п. Горный ПК 3, ПК 2, и ПК 1 в 9,27 и 3,09, 10 и 3,33, 33,1 и 11 раз соответственно. Нарушение норм ПДК для вод рыбохозяйственного значения по Ni выявлено на участке около хвостохранилища в 1,3 раза, в с. Старый Сибай (профиль) в 1,5 раза; в с. Старый Сибай (у р. Карагайлы) в 1,7 раза, п. Горный в 2 раза, д. Калинино в 2,22 раза и в фоновой территории д. Мукасово в 2,24 раза. Концентрация Ni находятся на уровне ПДК для питьевой воды в п. Горный (ПК3), д. Калинино и п. Мукасово.

Не соответствуют требованиям ПДК рыбохозяйственного значения концентрации Mn в снеговой воде: в д. Калинино превышает норму в 4,2 раза, около хвостохранилища в 4,4 раза, д. Мукасово в 4,7 раза, п. Горный ПК 3 в 5,1, в с. Старый Сибай (профиль) в 5,8, в п. Горный ПК 2 в 5,9, возле Зилаирского шоссе в 7 раз, в п. Горный ПК 1 в 7,5 раза, с. Старый Сибай (у р. Карагайлы) в 7,7 раза. Превышение концентрации Cd в 2 раза по сравнению с ПДК для питьевой воды наблюдается в п. Горный (ПК 1) и с. Старый Сибай (профиль). Содержание Pb выше в 1,33 раза ПДК для объектов рыбохозяйственного значения в п. Горный ПК 1. Оба участка (пикет 3 п. Горный и д. Калинино), в которых была обнаружена концентрация Co, не нарушают нормы ПДК.

### **Обсуждение результатов**

По результатам исследования для почв рассматриваемого района свойственно повышенное валовое содержанием Cu и Zn относительно значений ОДК. Концентрация Cu, Zn, Fe, Ni в почвах города Сибай превышает региональный геохимический фон (РГФ). Максимальные превышения ОДК по Cu отмечены на

пробных площадках в районах ТЭЦ (4 ОДК) и Зилаирского шоссе (2 ОДК). Значение Zn превышает ОДК в 3 раза в районе ТЭЦ и в 2 раза на Зилаирском шоссе. Почвы г. Сибай характеризуются высоким содержанием подвижных форм Zn, Cu, Ni. Концентрация Zn превышает ПДК в среднем в 10 раз, Cu – в 7, Ni – в 4 раза. Наибольшие превышения отмечены в районе ТЭЦ (3 ПДК по Cu; 12 ПДК по Zn; 3,5 ПДК по Ni). Также значительное превышение ТМ обнаружено на Зилаирском шоссе (3 ПДК по Cu; 9 ПДК по Zn; 3,5 ПДК по Ni). Согласно оценочной шкале опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения, почвы г. Сибай относятся к категориям умеренно опасной (п. Горный), опасной (3-й Микрорайон, ул. Матросова и Ленина, ТЭЦ) и к чрезвычайно опасной – пробная площадка на Зилаирском шоссе. По степени загрязнения и деградации почв пробная площадка ТЭЦ оценивается как экологическое бедствие, остальные участки – как экологический кризис.

Количество микроэлементов в коре тополя связано с влиянием подстилающих горных пород. Легко поглощается Cd, коэффициент биологического поглощения ( $K_b$ ) которого находится на уровне или превышает 1. Известно, что Cd наиболее подвижен в кислых почвах при кислотности (pH), равной 4,5–5,5 [8]. В данном случае на пробных площадках наблюдается подкисление почв. В отличие от других токсических элементов, Cd легко поглощается корнями растений, поскольку находится в подвижных формах. Содержание Cu, Zn, Pb, Co относится к 1 группе со средней интенсивностью поглощения, что свидетельствует о высокой рассеянности элементов и привносе их на данную территорию из атмосферного загрязнения. В точках отбора п. Горный (по Cu, Zn, Cd и Pb), 3-го Микрорайона (по Zn, Cd, Co), Зила-

ирского шоссе (по Ni), ул. Матросова (по Zn, Cd) коэффициент биологического поглощения равен единице, что свидетельствует об интенсивном накоплении ТМ. Ряд накопления ТМ в коре тополя г. Сибай составляет следующую форму:  $Cd > Zn > Ni > Co > Cu > Pb$ . Корреляционный анализ содержания ТМ в корке тополя показал наличие прямых взаимосвязей между Zn-Cu, Fe-Zn, Ni-Mn-Cd, а также Mn-Cd. Обратная взаимосвязь характерна для группировок ТМ: Zn-Ni, Fe-Co-Ni, Co-Cd. В листьях тополя лучше всего накапливаются Cu, Zn и Cd ( $10 > K_0 > 1$ ). Mn, Fe, Ni, Co и Pb по результатам расчета коэффициента биологического поглощения являются элементами слабого захвата ( $K_0 < 1$ ). Cu и Cd хорошо накапливаются в листьях деревьев в п. Горный и на ул. Матросова, Zn — в п. Горный и в 3-м Микрорайоне. Ряд накопления ТМ в листьях тополя г. Сибай составляет:  $Cu > Zn > Cd > Co > Ni > Pb$ . Листья *Populus nigra* отличаются накоплением большинства изученных ТМ и превышением кларка растений по В.В. Добровольскому, за исключением Mn и Pb.

Содержание химических элементов в коре и листьях тополя не сильно различаются по выделенным исследованным пробным площадкам. Наибольшее количество Cu в коре тополя наблюдается в п. Горный и в листьях на пр. Горняков. Максимальное содержание Zn в коре и листьях наблюдается на территориях п. Горный, 3-го Микрорайона, и коре — по ул. Маяковского. По содержанию Fe наиболее загрязненным местом является пр. Горняков и ул. Маяковского; по содержанию Cd, Co в коре тополя — 3-й Микрорайон, в листьях тополя данные микроэлементы превышают кларк растений в п. Горный и на Зилаирском шоссе. Максимальные содержания Pb зафиксированы в коре и листьях тополя на участках около вокзала и пр. Горняков.

Данные химического состава почв п. Горный характеризуются низкими значениями ПДК. Вероятно, это связано с погодными условиями (высокие температуры воздуха и малое количество осадков) и подщелачиванием pH почв (высокая подвижность ТМ). Следовательно, высокие значения микроэлементов в листьях тополя обусловлены влиянием атмосферного загрязнения. Это указывает на преимущественное поступление металлов в растения из воздушной среды при аэротехногенном загрязнении. В то же время концентрация Zn в почвах превышает ПДК в среднем в 10 раз, Cu — в 7, Ni — в 4 раза. Наибольшие превышения отмечены в районе ТЭЦ (3 ПДК по Cu, 12 ПДК по Zn, 3,5 ПДК по Ni). Также значительное превышение ТМ обнаружено на Зилаирском шоссе (3 ПДК по Cu, 9 ПДК по Zn, 3,5 ПДК по Ni), что связано с поступлением их в листья тополя черного из загрязненных почв.

Для подвижных форм ТМ в почве определены следующие группировки с тесными прямыми связями: Co-Pb, Cu-Cd-Zn, Fe-Ni, Ni-Co-Pb. Обратная взаимосвязь между подвижными формами ТМ в почве и корке тополя отмечена для Cu, Co, Pb и Cd. Корреляционных связей ни с каким металлом не образует Mn. Корреляционный анализ содержания ТМ в тополе и почвах показал наличие прямой взаимосвязей по Cu, Ni, Mn, Cd и Co. Обратная взаимосвязь характерна в системе «почва-растение», отмечена для Fe.

В соответствии с биогеохимическими критериями оценки территории, на изученных пробных площадках состояние окружающей среды оценивается по содержанию Cu в листьях как экологическое бедствие и экологический кризис, по Zn — экологический кризис, по Fe — как относительно удовлетворительная ситуация. В целом, наиболее загрязнен-

ным в городе оказались районы п. Горный, ул. Ленина, ТЭЦ и Зилаирского шоссе. В районе п. Горный, вдоль дороги, отмечены самые высокие концентрации Zn, Cu, Mn в почве. В растительных материалах тополя — в районе ТЭЦ, на ул. Ленина и на Зилаирском шоссе, что может быть связано с загрязнением от автотранспорта.

Химический анализ снежного покрова на содержание ТМ в антропогенно нарушенных территориях показал, что не соответствовали требованиям ПДК для объектов рыбохозяйственного значения такие металлы, как Pb, Mn, Ni, Zn и Cu. Отмечается превышение содержания Fe в 33,1 раза относительно ПДК в пикете 1 п. Горный. Содержание Co и Cd отвечали нормам ПДК для объектов рыбохозяйственного значения. Что касается ПДК для питьевой воды, то в этом случае не превышали нормы Co, Pb, Mn, Zn, Cu.

Аналогично ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения — выявлено большое превышение содержания Fe в пикете 1 п. Горный в 11 раз. Ряд распределения средних концентраций металлов в снежном покрове г. Сибай и его окрестностей расположен в следующем порядке уменьшения: Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Cd > Co. Наиболее загрязненными участками можно считать п. Горный и Зилаирское шоссе.

### **Заключение**

Проведенные исследования в г. Сибай с прилегающими к нему территориями позволяют сделать следующие выводы:

1. Почвы изученной территории отличаются повышенным валовым содержанием Cu и Zn, Fe, Ni выше значений ОДК и регионального геохимического фона. Почвы г. Сибай характеризуются высоким содержанием подвижных форм Zn, Cu, Ni и Mn. Наибольшие превышения отмечены в п. Горный, в районе ТЭЦ и на ул. Ленина.

2. Растительные образцы *Populus nigra* отличаются накоплением большинства изученных ТМ и превышением кларка растений по В.В. Добровольскому, за исключением Mn и Pb. Низкая и средняя интенсивность биологического поглощения элементов свидетельствует о высокой рассеянности элементов и привносе их на данную территорию из атмосферного загрязнения. Наиболее загрязненными местами являются Зилаирское шоссе, ул. Ленина и территория около ТЭЦ.

3. Концентрации Cu, Zn, Mn, Pb в снеговой воде нарушенных территорий отвечают условиям ПДК для питьевой воды. Сравнение с ПДК для объектов рыбохозяйственного значения позволяет выделить Co и Cd, содержание которых советовало нормам. Полученные данные указывают на преимущественное поступление ТМ в почвенный покров путем миграции из нижних почвенных горизонтов и аэротехногенного загрязнения через деревья.

4. Согласно оценочной шкале опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения, почвы только на одной пробной площадке относятся к умеренно опасной категории загрязнения (п. Горный), на остальных площадках категория загрязнения оценена как допустимая. По степени загрязнения и деградации почв пробная площадка п. Горный и ТЭЦ оценивается как экологическое бедствие, остальные участки — как экологический кризис.

В создании научной статьи принимала участие: аспирант Коршунова Дария Вячеславовна (Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета) — участвовала в отборе проб снега. Автор выражает признательность за помощь коллегам и людям, чей вклад в данную работу носил чисто технический характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Оценка экологического состояния Центрального района Санкт-Петербурга на основе экофитоиндикации // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2017. — № 62 (2). — С. 209—217.
2. Макаров В. П., Борзенко С. В., Помазкова Н. В., Желибо Т. В. Особенности накопления химических элементов в хвое лиственницы Гмелина, произрастающей в районе Удоканского месторождения меди // Химия растительного сырья. — 2021. — № 2. — С. 191—200. DOI: 10.14258/jcrpm.2021028832.
3. Cowan N., Blair D., Malcolm H., Graham M. A survey of heavy metal contents of rural and urban roadside dusts: Comparisons at low, medium and high traffic sites in Central Scotland // Environmental Science and Pollution. 2021, vol. 28, pp. 7365—7378.
4. Wei J., Zheng X., Liu J. Modeling analysis of heavy metal evaluation in complex geological soil based on nemerow index method // Metals. 2023, vol. 13, no. 2, article 439. DOI: 10.3390/met13020439.
5. Воробьева И. Б. Системный подход при геоэкологической оценке территории // Вестник ТГУ. — 2014. — Т. 19. — № 5. — С. 1485—1487.
6. Слепнева Е. В. Теоретические и методологические аспекты изучения трансграничных геосистем // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». — 2016. — Т. 16. — С. 101—115.
7. Ren Z.-L., Sivry Y., Dai J., Tharaud M., Cordier L., Benedetti M. F. Exploring Cd, Cu, Pb and Zn dynamic speciation in mining and smelting-contaminated soils with stable isotopic exchange kinetics // Applied Geochemistry. 2016, vol. 64, pp. 157—163. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2015.09.007.
8. Пашкевич М. А., Бек Дж., Матвеева В. А., Алексеенко А. В. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга // Записки Горного института. — 2020. — Т. 241. — С. 125—130. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125.
9. Опекунова М. Г., Гайдыш И. С., Никулина А. Р., Кушнир И. В., Панова А. А. Результаты геоэкологического мониторинга и биоиндикационных исследований в районе Костомукшского заповедника и АО «Карельский окатыш» / LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х т. Т. 2. — СПб., 2023. — С. 75—79.
10. Opekunov A. Y., Opekunova M. G., Kukushkin S. Y., Yanson S. Y., Arestova I. Y., Sheinerman N. A., Spasskii V. V., Elsukova E. Y., Papyan E. E. Mineralogical—geochemical characteristics of the snow cover in areas with mining and ore-processing facilities // Geochemistry International. 2021, vol. 59, no. 7, pp. 711—724. DOI: 10.1134/S0016702921060070.
11. Хасанова Р. Ф., Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т., Рафикова Ю. С. Аккумуляция тяжелых металлов в листьях и коре древесных растений в условиях полиметаллического загрязнения // Естественные и технические науки. — 2017. — № 12 (114). — С. 90—93.
12. Ильбулова Г. Р., Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т., Хасанова Р. Ф., Суюндукова М. Б. Эколого-токсикологическая оценка состояния почв в зоне воздействия Сибайского карьера Республики Башкортостан // Микроэлементы в медицине. — 2021. — № 22(s). — С. 35—37. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-16.
13. Королева Ю. В., Петрова Н. Г., Мандрик В. А., Ананян А. С. Аккумуляция следовых элементов в листьях растений *Quercus robur* L. и *Quercus rubra* L. в городской среде // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия «Естественные и медицинские науки». — 2021. — № 4. — С. 70—80.
14. Коротченко И. С., Мучкина Е. Я. Тяжелые металлы в почвенном покрове и древесных растениях урбанизированной территории города Красноярск // Экология урбанизированных территорий. — 2017. — № 2. — С. 6—11.
15. Sperlea T., Heider D., Hattab G. A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems // Ecological Indicators. 2022, vol. 140, article 109050. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109050.
16. Попова Л. Ф., Андреева Ю. И., Никитина М. В. Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами // Принципы экологии. — 2016. — № 2. — С. 62—69. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5002.
17. Хасанова Р. Ф., Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т., Рафикова Ю. С., Биктимерова Г. Я., Ильбулова Г. Р., Кужина Г. Ш., Ильина И. В. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами

почв промышленных зон города Сибай // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2017. — № 12 (212). — С. 74–77.

18. Окоелова А. А., Кожевникова В. П., Заикина В. Н. Объективность оценки накопления тяжелых металлов в почве // Успехи современного естествознания. — 2013. — № 8. — С. 21–22.

19. Холдаров Д. М., Собиров А. О. Коэффициент биологической поглощаемости растений в засоленных почвах и солончаках [Электронный ресурс] // Universum: химия и биология. — 2020. — № 1(79). URL: <https://universum.com/ru/nature/archive/item/11061> (дата обращения: 15.05.2024).

20. Кудреватых И. Ю., Калинин П. И., Алексеев А. О. Биогенное накопление химических элементов растениями родов *Roaseae* Barnhart и *Artemisia* L. в сухостепной и полупустынной зонах юга Русской равнины // Сибирский экологический журнал. — 2019. — № 4. — С. 466–478. DOI: 10.15372/SEJ20190409.

21. Ермолов Ю. В., Лебедева М. А., Бондарь М. Г., Колпащиков Л. А., Черевко А. С., Смоленцев Н. Б. Особенности аккумуляции химических элементов в биогеохимической пищевой цепи северной части норильского плато // Геохимия. — 2020. — Т. 65. — № 5. — С. 499–510. DOI: 10.31857/S0016752520040032. **ПЛАТ**

## REFERENCES

1. Ufimtseva M. D., Terekhina N. V. Assessment of the ecological state of the Central district of St. Petersburg on the basis of ecofитоindication. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 2017, no. 62 (2), pp. 209–217. [In Russ].

2. Makarov V. P., Borzenko S. V., Pomazkova N. V., Zhelibo T. V. Features of accumulation of chemical elements in conifers of Gmelin larch growing in the area of Udokan copper deposit. *Chemistry of plant raw material*. 2021, no. 2, pp. 191–200. [In Russ]. DOI: 10.14258/jcprm.2021028832.

3. Cowan N., Blair D., Malcolm H., Graham M. A survey of heavy metal contents of rural and urban roadside dusts: Comparisons at low, medium and high traffic sites in Central Scotland. *Environmental Science and Pollution*. 2021, vol. 28, pp. 7365–7378.

4. Wei J., Zheng X., Liu J. Modeling analysis of heavy metal evaluation in complex geological soil based on nemerow index method. *Metals*. 2023, vol. 13, no. 2, article 439. DOI: 10.3390/met13020439.

5. Vorob'eva I. B. A systematic approach to the geoeological assessment of the territory. *Tomsk State University Journal*. 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1485–1487. [In Russ].

6. Slepneva E. V. Theoretical and methodological aspects of the study of transboundary geosystems. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences»*. 2016, vol. 16, pp. 101–115. [In Russ].

7. Ren Z.-L., Sivry Y., Dai J., Tharaud M., Cordier L., Benedetti M. F. Exploring Cd, Cu, Pb and Zn dynamic speciation in mining and smelting-contaminated soils with stable isotopic exchange kinetics. *Applied Geochemistry*. 2016, vol. 64, pp. 157–163. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2015.09.007.

8. Pashkevich M. A., Bech J., Matveeva V. A., Alekseenko A. V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 125–130. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125.

9. Opekunova M. G., Gajdysh I. S., Nikulina A. R., Kushnir I. V., Panova A. A. Results of geoeological monitoring and bioindication studies in the area of the Kostomuksha Reserve and JSC Karelian Okatysh. *LXXVI Gertsenovskie chteniya. Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 2* [LXXVI Herzen readings Geography: Development of Science and Education: Materials of the International Scientific and Practical Conference, vol. 2], Saint-Petersburg, 2023, pp. 75–79. [In Russ].

10. Opekunov A. Y., Opekunova M. G., Kukushkin S. Y., Yanson S. Y., Arestova I. Y., Sheinerman N. A., Spasskii V. V., Elsukova E. Y., Papyan E. E. Mineralogical–geochemical characteristics of the snow cover in areas with mining and ore-processing facilities. *Geochemistry International*. 2021, vol. 59, no. 7, pp. 711–724. DOI: 10.1134/S0016702921060070.

11. Khasanova R. F., Semenova I. N., Sujundukov Ja. T., Rafikova Ju. S. Accumulation of heavy metals in leaves and bark of woody plants under conditions of polymetallic contamination. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2017, no. 12 (114), pp. 90–93. [In Russ].

12. Il'bulova G. R., Semenova I. N., Sujundukov Ja. T., Hasanova R. F., Sujundukova M. B. Ecological and toxicological assessment of soil conditions in the impact zone of the Sibaysky quarry of the

Republic of Bashkortostan. *Trace elements in medicine*. 2021, no. 22(s), pp. 35–37. [In Russ]. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-S1-16.

13. Koroleva Yu. V., Petrova N. G., Mandrik V. A., Ananyan A. S. Accumulation of trace elements in the leaves of plants *Quercus robur* L. and *Quercus rubra* L. in the urban environment. *IKBFU's Vestnik. Series: Natural Sciences*. 2021, no. 4, pp. 70–80. [In Russ].

14. Korotchenko I. S., Muchkina E. Ya. Heavy metals in the soil cover and woody plants of the urbanized territory of the city of Krasnoyarsk. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2017, no. 2, pp. 6–11. [In Russ].

15. Sperlea T., Heider D., Hattab G. A theoretical basis for bioindication in complex ecosystems. *Ecological Indicators*. 2022, vol. 140, article 109050. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109050.

16. Popova L. F., Andreeva Ju. I., Nikitina M. V. Assessment of the level of pollution of the soil and vegetation cover of Bolshoy Solovetsky Island by heavy metals. *Principles of the Ecology*. 2016, no. 2, pp. 62–69. [In Russ]. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5002.

17. Khasanova R. F., Semenova I. N., Suyundukov Ya. T., Rafikova Yu. S., Biktimerova G. Ya., Il'bulova G. R., Kuzhina G. Sh., Il'ina I. V. Environmental assessment of heavy metal pollution of soils industrial zones of Sibay city. *Vestnik of the Orenburg state university*. 2017, no. 12 (212), pp. 74–77. [In Russ].

18. Okolelova A. A., Kozhevnikova V. P., Zaikina V. N. The objectivity of assessing the accumulation of heavy metals in soil. *Advances in current natural sciences*. 2013, no. 8, pp. 21–22. [In Russ].

19. Kholdarov D. M., Sobirov A. O. Coefficient of biological absorption of plants in saline soils and salt marshes. *Universum: khimiya i biologiya*. 2020, no. 1(79). [In Russ]. available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11061> (accessed 15.05.2024).

20. Kudrevatykh I. Ju., Kalinin P. I., Alekseev A. O. Biogenic accumulation of chemical elements by plants of the genera *Poaceae* Barnhart and *Artemisia* L. in the dry-steppe and semi-desert zones of the south of the Russian Plain. *Contemporary Problems of Ecology*. 2019, no. 4, pp. 466–478. [In Russ]. DOI: 10.15372/SEJ20190409.

21. Ermolov Yu. V., Lebedeva M. A., Bondar M. G., Kolpashchikov L. A., Cherevko A. S., Smolentsev N. B. Features of accumulation of chemical elements in the biogeochemical food chain of the northern part of the Norilsk plateau. *Geochemistry*. 2020, vol. 65, no. 5, pp. 499–510. [In Russ]. DOI: 10.31857/S0016752520040032.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Папян Эльза Эльдаровна<sup>1</sup> — канд. геогр. наук,  
доцент, доцент, e-mail: elza.papyan@yandex.ru,  
Scopus Author ID: 57194598412,  
ORCID ID: 0000-0003-1456-044X,

Баймова Светлана Ринатовна<sup>2</sup> — канд. биол. наук,  
доцент, доцент, e-mail: baimovasr@uust.ru,  
ORCID ID: 0009-0009-6820-3676,

Хасанова Резеда Фиргатовна<sup>2</sup> — д-р биол. наук,  
доцент, профессор, e-mail: rezeda78@mail.ru,  
Scopus Author ID: 35784661400,  
ORCID ID: 0000-0002-8917-0561,

Ильбулова Гульназ Ражаповна<sup>1</sup> — канд. биол. наук,  
доцент, доцент, e-mail: ilbulova@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-1355-7230,

Сомов Всеволод Владимирович — канд. геогр. наук,  
старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет,  
Институт наук о Земле, e-mail: vomos\_v\_v@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-2575-571X,

<sup>1</sup> Сибайский институт (филиал) Уфимского университета науки и технологий,

<sup>2</sup> Уфимский университет науки и технологий.

**Для контактов:** Папян Э.Э., e-mail: elza.papyan@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*E.E. Papyan*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Geogr.), Assistant Professor,  
Assistant Professor, e-mail: elza.papyan@yandex.ru,  
Scopus Author ID: 57194598412,

ORCID ID: 0000-0003-1456-044X,

*S.R. Baimova*<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Assistant Professor, e-mail: baimovavr@uust.ru,

ORCID ID: 0009-0009-6820-3676,

*R.F. Khasanova*<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Professor, e-mail: rezeda78@mail.ru,

Scopus Author ID: 35784661400,

ORCID ID: 0000-0002-8917-0561,

*G.R. Ilbulova*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Assistant Professor, e-mail: ilbulova@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-1355-7230,

*V.V. Somov*, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Lecturer,  
Institute of Earth Sciences of the Saint-Petersburg  
State University, 199034, Saint-Petersburg, Russia,

e-mail: vomos\_v\_v@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-2575-571X,

<sup>1</sup> Sibay Institute (branch) of Ufa University of Science  
and Technology, Sibay, 453837, Russia,

<sup>2</sup> Ufa University of Science and Technology, 450076, Ufa.

**Corresponding author:** E.E. Papyan, e-mail: elza.papyan@yandex.ru.

Получена редакцией 15.07.2024; получена после рецензии 27.01.2025; принята к печати 10.03.2025.

Received by the editors 15.07.2024; received after the review 27.01.2025; accepted for printing 10.03.2025.

