

УДК 550.4.02:504.53(571.54/.55)

**СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННЫХ  
БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ****Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Войченко А.А.,  
Войченко Т.Ю., Лескова О.А., Лесков А.П.***ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», Чита,  
e-mail: bondarevich84@mail.ru*

Районы Забайкалья, где велась интенсивная горнопромышленная деятельность, характеризовались высокими концентрациями в почвенном покрове и техноземах токсичных элементов: серебра, мышьяка, кадмия, свинца, сурьмы и цинка. По всем элементам имелся следующий характер распределения: максимальные значения в составе техноземов, далее в почвах буферных зон хвостохранилищ, и минимальные количества в условно фоновых районах сбора проб. Техноземы большинства горно-обогатительных комбинатов представляют собой антропогенные обеднённые полиметаллические месторождения. Интенсивнее всего загрязнение токсичными элементами отмечалось в условиях отвалов сереброплавильных рудников, расположенных в окрестностях села Нерчинский Завод, где добыча и переработка руды осуществлялась более 170 лет назад (с 1704 по 1853 г.). По величине индекса геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) сверхвысокие значения в 21,33 единицы отмечены по кадмию в отвалах рудника Кадая, очень сильное загрязнение отмечено также и практически по всем точкам пробоотбора, за исключением поселка Ново-Орловск, для которого степень загрязнения по сурьме имела значения от умеренного до сильного. Чрезвычайно опасными по интенсивности загрязнения были техноземы сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка и поймы реки Средняя Борзя, с максимумом в 702 единицы (Нерчинский Завод). Также отмечалась интенсивная миграция микроэлементов и в воду реки Средняя Борзя, что увеличивает площадь загрязнённого района и приводит к перемещению ксенобиотиков в реку Аргунь. Значения коэффициента суммарного токсикологического загрязнения имели максимумы для техноземов и почв буферных зон – 385,24 (село Нерчинский Завод), 306,90 (село Кадая), 319,33 (село Воздвиженка), что относит их к территориям, имеющим опасный уровень загрязнения. Исследованная территория характеризуется сложной природной геохимической обстановкой, йодо- и селенодефицитом и микроэлементозом (болезнью Кашина–Бека), приводящим к развитию у населения экологозависимых патологий, которые могут быть усилены техногенно созданными источниками высокотоксичных элементов.

**Ключевые слова:** токсичные элементы, почвы, техноземы, горнопромышленный комплекс Забайкалья, микроэлементозы

**THE STATE OF THE SOIL COVER IN THE AREAS OF TECHNOGENIC  
BIOGEOCHEMICAL ANOMALIES IN TRANSBAIKAL REGION****Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voychenko A.A.,  
Voychenko T.Yu., Leskova O.A., Leskov A.P.***Chita State Academy of Medicine, Chita, e-mail: bondarevich84@mail.ru*

The Transbaikalian region areas, where intensive mining activity was carried out, were characterized by high concentrations of toxic elements – silver, arsenic, cadmium, lead, antimony, and zinc in the soil cover and technozems. All elements were distributed as follows: the maximum values were detected in the composition of technozems, then in the soils of the buffer zones of the tailings, and the minimum quantities were found in conditionally background sampling areas. The most mining and processing enterprises technozems of are anthropogenic depleted polymetallic deposits. The most intense toxic elements pollution was noted in the conditions of dumps of silver smelters located in the vicinity of the village of Nerchinsky Zavod, where ore was mined and processed more than 170 years ago (from 1704 to 1853). According to the geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ), ultrahigh values of 21,33 units were noted for cadmium in the dumps of the Kadaya mine, very strong pollution was also observed at almost all sampling points, except for the village of Novo-Orlovsk, for which the pollution degree by antimony had values from medium to high. Extremely hazardous in terms of pollution intensity were technozems from the villages of Nerchinsky Zavod, Kadaya and Vozdvizhenka and the floodplains of the Srednyaya Borzya River, with a maximum of 702 units (Nerchinsky Zavod). Intensive migration of trace elements into the water of the Middle Borzya River was also noted, which increases the area of the contaminated area and leads to the movement of xenobiotics into the Argun River. The values of the total toxicological pollution coefficient had maximums for technozems and soils of buffer zones – 385,24 (Nerchinsky Zavod village), 306,90 (Kadaya village), 319,33 (Vozdvizhenka village), which refers them to territories with a dangerous level of pollution. The territory under consideration is characterized by a challenging natural geochemical situation, iodine and selenium deficiency, and microelementosis (Kashin – Beck disease), which causes the development of environmentally dependent pathologies in the population that can be amplified by technologically created sources of highly toxic elements.

**Keywords:** toxic elements, soils, technozems, mining complex of Transbaikalia, microelementosis

Восточное Забайкалье является важной сырьевой базой России, на территории которой производится добыча и переработка ряда ценных минеральных ресурсов: цветных и драгоценных металлов, полуметал-

лов и минералов [1]. Однако масштабная добыча привела к формированию на поверхности значительных по объемам отвалов пустой и частично переработанной породы. Содержащиеся в этих техногенных

скоплениях химические элементы подвергаются химической и биологической трансформации, что приводит к их интенсивной миграции и накоплению в почве и растительных объектах. По трофическим цепям многие токсичные соединения поступают в организмы животных и человека, приводя к нарушению металло-лигандного гомеостаза и провоцируя патологические состояния (биоэлементозы) [2]. Опасность отвалов также связана с их расположением относительно населенных пунктов, в которых организована переработка добываемой руды. В связи с экономическим кризисом в постсоветский период многие из предприятий горнопромышленного комплекса были закрыты и разрушены, а мероприятия по уменьшению негативного воздействия техногенных объектов на экосистемы и населенные пункты не проводились.

Целью исследования было изучение химического состава почв и техноземов из окрестностей населенных пунктов, где производится добыча и частичная переработка полиметаллических руд, и оценка их негативного воздействия на прилегающие территории.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались почвы и техноземы, отобранные в населённых пунктах, подвергающихся техногенному воздействию из-за добычи и обогащения горно-обогатительных комбинатов (ГОКов), или где ведётся добыча руды, а также в окрестностях хвостохранилищ и отвалов. Отбор проб из техногенных геохимических аномалий был проведён в 2018 г. в следующих пунктах: Приаргунский район – село Кличка, Газимуро-Заводский район – посёлок Новоширокинский и село Тайна (фон), Нерчинско-Заводский район – сёла Нерчинский Завод и Воздвиженка и пойма реки Уров (фон), Калганский район – сёла Кадая, Калга (фон) и пойма реки Средняя Борзя, Агинский район – посёлки городского типа (пгт) Ново-Орловск и Агинское (фон). Масса отходов горного производства и содержание в них приоритетных загрязнителей имеют крайне высокие значения, характеризующие хвостохранилища и отвалы горно-обогатительных комбинатов как месторождения, имеющие техногенное происхождение [1; 3]. Всего в работе использовано 24 пробы в 2-кратной повторности. Аналитическое определение 32 химических элементов (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, La, Li, Mg,

Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sr, Ti, V, W, Y, Zn и Zr) проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Perkin Elmer NexION 300D (США) в аккредитованной лаборатории ЗАО «СЖС Восток Лимитед» (г. Чита).

Распределение концентраций загрязняющих веществ статистически значимо отличалось от нормального, в связи с чем, кроме значения величины среднего и ошибки среднего ( $M \pm \sigma$ ), определялись медиана ( $Me$ ) и интерквартильный размах ( $Q_{25}-Q_{75}$ ), а для оценки значимых различий применялся непараметрический U-критерий Манна-Уитни, достоверными считали выборки при 95 %-ном пороге вероятности ( $p < 0,05$ ) [4].

Для анализа данных использовались эколого-геохимические коэффициенты – техногенной концентрации химических элементов:  $K_c = \frac{C_{\text{пробы}}}{C_{\text{фон}}}$ , и суммарного показателя загрязнения ( $Z_{CT}$ ) с учётом токсичности химических элементов, которые рассчитывали с использованием поправочных коэффициентов:  $Z_{CT} = \sum(K_{C(i)} \cdot K_{T(i)}) - (n - 1)$ , где  $K_c > 1,5$ ,  $n$  – число химических элементов. В расчётах использовали следующие коэффициенты токсичности ( $K_{T(i)}$ ): для химических элементов 1-го класса опасности (As, Cd, Pb, Zn) равны 1,5; для 2-го класса (Cu, Sb) – 1 [5]. Суммарный показатель загрязнения имел следующую градацию критических значений: менее 16 – допустимая, наиболее низкий уровень заболеваемости у детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений; от 16 до 32 – умеренно опасная, увеличение общей заболеваемости; от 32 до 128 – опасная, увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы; более 128 – чрезвычайно опасная категория загрязнения, увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщины (увеличение числа токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипертрофии новорождённых).

Для учёта содержания, токсичности и буферности конкретной почвы рассчитывался индекс суммарной токсикологической оценки загрязнённости почв токсичными элементами:  $P_t = \sum \left[ \frac{(C_{\text{почва}} - C_{\text{фон}})}{(C_{\text{фон}} + \text{ПДД})} \right] - (n - 1)$ , где  $C_{\text{почва}}$  и  $C_{\text{фон}}$  – содержание химического элемента (мг/кг) в условиях исследуемой

площадки в сравнении с фоновыми территориями, стандартная величина предельно допустимого дополнения (ПДД), которая для Zn составляла 16 мг/кг, As – 4,5 мг/кг, Cd – 0,76 мг/кг, Sb – 0,53 мг/кг, Pb – 55 мг/кг [6]. Градации почв по токсикологической оценке имеют следующие степени: допустимая <10, слабая 10–40, средняя 40–80, опасная 80–200, очень опасная 200–500, чрезвычайно опасная 500–3000 [7]. Индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) [8, с. 142]:  $I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_m}{1,5 \cdot B_m} \right]$ ,

где  $B_m$  – фоновая концентрация элемента в почве по А.П. Виноградову [9];  $C_m$  – измеренная концентрация химического элемента в почве; 1,5 – коэффициент коррекции, позволяет анализировать естественные отклонения в содержании элемента в природе и снижать антропогенное влияние. Градация интенсивности загрязнения в зависимости от значений индекса имеет следующие значения: <0 – практически незагрязненная, > 0–1 – от незагрязненной до умеренной, > 1–2 – умеренная, > 2–3 – от умеренной до сильной, > 3–4 сильная, > 4–5 – от сильной до очень сильной, > 5 – очень сильная [8, с. 143].

Степень опасности загрязнения почв определялась в соответствии с ориентировочной оценочной шкалой опасности загрязнения почв по МУ 2.1.7.730-99 «Почва. Очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест», ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» и ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве».

### Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав почв и техноземов населенных пунктов, входящих в состав горнопромышленного комплекса Забайкальского края, выявил аномально высокие количества серебра, мышьяка, кадмия, свинца, сурьмы и цинка (табл. 1). Превышение нормирующих показателей по содержанию серебра отмечено в 8 пробах (от 10,8 до 118,9 раза по сравнению с кларком для городских почв), максимальные цифры по мышьяку отмечались для техноземов из хвостохранилищ и отвалов сёл Нерчинский Завод, Воздвиженка и Кадая. Следует отметить, что содержание это-

го элемента превышало все нормирующие показатели и для сравнительно экологически благополучных территорий, например в почве с. Калга зарегистрировано более чем двукратное превышение ОДК (As), в пойме р. Уров – 18,4-кратное превышение ОДК (As) (табл. 1). Высокотоксичный кадмий в сверхвысокой концентрации присутствовал в технозёмах сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка, превышая ПДК более чем в 60 раз. Очень высокие значения по свинцу получены для техноземов п. Кличка и сёл Нерчинский Завод и Кадая, с максимальным содержанием в образцах из поймы р. Средняя Борзя, где отмечено 75-кратное превышение ОДК. Концентрация сурьмы превышала ПДК в технозёмах сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка, с максимумом превышения ПДК в 128 раз. Избыток цинка зафиксирован в технозёмах всех горно-обогажительных комбинатов с максимумом превышения ОДК в 45,5 раз для проб из сёл Нерчинский Завод и Кадая. Кроме того, в исследованных пробах зафиксировано количество элементов, многократно превышающее медианные значения для природных малонарушенных почв Забайкалья (табл. 1).

Анализ обобщённых данных по каждому типу изученных субстратов выявил следующие особенности. Максимальные значения среднего содержания и медианы токсичных элементов отмечались в технозёмах и в почвах буферных зон, расположенных по их периферии (табл. 2). Сравнение трёх групп данных (без учёта Ag) для оценки достоверности различий между ними с помощью критерия Манна-Уитни по величинам среднего содержания химических элементов показало значимые различия между технозёмами и фоновыми участками ( $U = 2$ ,  $p = 0,037$ ). Сравнение остальных совокупностей не имело достоверных отличий («фон–почвы населённых пунктов»:  $U = 8$ ,  $p = 0,40$ , «технозём–почвы населённых пунктов»:  $U = 5$ ,  $p = 0,14$ ). По совокупностям медиан значимых отличий не выявлено.

Тем не менее медианы уровня загрязнённости техноземов всеми токсичными элементами многократно превышали уровни ПДК и ОДК, что характеризует эти объекты как техногенные пустыни, неблагоприятные для жизни микробиоты и растений. Почвы в населённых пунктах можно охарактеризовать как урбанозёмы, обогащённые As, Pb, Sb и в меньшей мере Zn, при сравнении с медианным содержанием и кларком для

городских почв [9]. Фоновые участки характеризовались небольшим избыточным содержанием мышьяка, по остальным элементам превышения нормирующих показателей не отмечалось (табл. 2).

Относительный уровень загрязнения почв и техноземов биогеохимических горно-промышленных аномалий оценивали с помощью индекса геоаккумуляции (табл. 3). Максимальные значения по данному геохимическому коэффициенту отмечались для техноземов и почв, сформировавшихся возле хвостохранилищ и отвалов. Сверхвысокое значение ( $I_{geo} = 21,33$ ) отмечено по кадмию в отвалах рудника Кадая, очень сильное загрязнение отмечено также и практически по всем точкам пробобора, за исключением пгт Ново-Орловск, для которого значение степени загрязнения по сурьме было от умеренного до сильного.

Техноземы у сёл Нерчинский Завод и Кадая имели по всем приоритетным загрязнителям крайне высокие величины. Также следует отметить, что почвы относительно благополучных площадок имели сверхвысокие значения индекса геоаккумуляции ряда токсичных элементов, что, в свою очередь, может оказывать влияние на минеральный обмен растений, животных и человека, обитающих и проживающих в этих районах. Лесные почвы посёлка Новоширокинский и села Калга сильно загрязнены серебром, а в посёлке Кличка на фоне загрязнения садовой почвы серебром отмечается высокий уровень геоаккумуляции сурьмы. Для почвы села Воздвиженка сильное загрязнение зафиксировано по мышьяку, кадмию и сурьме, в аллювиальных почвах поймы реки Уров имелось загрязнение мышьяком, свинцом и сурьмой (табл. 3).

**Таблица 1**

Среднее содержание приоритетных неорганических загрязнителей  
в почвах и техноземах, в мг/кг

Населенный пункт и тип проб		Ag, мг/кг	As, мг/кг	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Sb, мг/кг	Zn, мг/кг
п. Кличка	почва с терр. ГОКа	–	169,00	2,00	247,00	34,00	426,00
	садовая почва	–	110,00	2,00	114,00	15,00	260,00
	технозём	–	401,00	7,00	1510,00	22,00	1220,00
	отвалы	–	167,00	5,00	110,00	14,00	1210,00
п. Новоширокинский	лесная почва	–	13,00	<1,00	24,00	5,00	80,20
	почва с терр. ГОКа	4,00	186,00	3,00	859,00	35,00	995,00
	технозём	5,00	416,00	2,00	879,00	85,00	616,00
	отвалы	–	83,00	<1,00	45,00	15,00	85,40
	фон	–	43,00	2,00	291,00	18,00	443,00
с. Нерчинский Завод	технозём	44,00	3460,00	120,00	10050,0	372,00	10000,0
	почва с терр. ГОКа	10,00	443,00	17,00	2770,00	150,00	3560,00
	фон	–	68,00	<1,00	297,00	15,00	323,00
с. Калга	садовая почва	–	26,00	<1,00	14,00	5,00	50,50
	фон	–	17,00	<1,00	22,00	5,00	108,00
с. Кадая	технозём	20,00	2680,00	61,00	4890,00	577,00	10000,0
	отвалы	12,00	1490,00	16,00	4580,00	31,00	2030,00
	садовая почва	–	24,00	9,00	307,00	5,00	2230,00
	технозём поймы р. Ср. Борзя	36,00	2220,00	135,00	9830,00	226,00	10000,0
с. Воздвиженка	отвалы	17,00	2310,00	26,00	4450,00	378,00	4840,00
	фон	–	158,00	<1,00	232,00	20,00	305,00
р. Уров	пойма	–	184,00	<1,00	253,00	24,00	338,00
	склон	–	10,00	<1,00	17,00	5,00	94,90
пгт. Ново-Орловск	фон	–	10,00	<1,00	16,00	4,50	58,50
	технозём	–	21,00	<1,00	8,00	5,00	40,40
Кларк в почве (*в земной коре) [9]		0,07*	5,00	0,50	10,00	0,50*	50,00
Кларк в городских почвах [9]		0,37	15,90	0,90	54,50	1,00	158,00
Медианный фон Забайкалья [10, с. 215]		–	–	0,07	30,00	–	75,00
ЦДК		–	2,00	2,00	32,00	4,50	–
ОДК		–	10,00	–	130,00	–	220,00



**Таблица 2**  
Уровни содержания (в мг/кг) химических элементов в почвах и технозёмах мониторинговых точек восточных районов Забайкалья

Тип проб	Показатели	Ag	As	Cd	Pb	Sb	Zn
Технозёмы	M ± σ	18,50 ± 5,12	1168,75 ± 346,79	32,92 ± 13,67	3351,67 ± 1026,38	161,58 ± 54,07	3748,53 ± 1155,07
	Me (Q <sub>25</sub> -Q <sub>75</sub> )	14,50 (6,25–32,00)	429,50 (173,25–2287,50)	11,50 (2,25–52,25)	2140,00 (400,00–4812,50)	60,00 (24,25–335,50)	1625,00 (710,75–8710,00)
Почвы населённых пунктов	M ± σ	–	95,00 ± 27,47	2,50 ± 1,31	202,83 ± 47,13	14,00 ± 3,16	584,42 ± 331,93
	Me (Q <sub>25</sub> -Q <sub>75</sub> )	–	89,00 (25,50–164,50)	1,00 (<1,00–3,75)	242,50 (89,00–299,50)	15,00 (5,00–21,00)	314,00 (207,63–811,00)
Фоновые участки	M ± σ	–	18,60 ± 6,23	1,20 ± 0,20	74,00 ± 54,27	7,50 ± 2,63	156,92 ± 71,99
	Me (Q <sub>25</sub> -Q <sub>75</sub> )	–	13,00 (10,00–30,00)	<1,00 (<1,00–1,50)	22,00 (16,50–157,50)	5,00 (4,75–11,50)	94,90 (69,35–275,50)

**Таблица 3**  
Величины индекса геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) элементов-токсикантов в почвах и технозёмах, суммарного коэффициента загрязнения ( $Z_{CT}$ ) и коэффициента суммарной токсикологической оценки загрязнённости почв токсичными элементами ( $P_t$ )

Населенный пункт и тип проб		Ag	As	Cd	Pb	Sb	Zn	$\frac{Z_{CT}}{P_t}$
п. Кличка	почва с терр. ГОКа	<b>5,25</b>	4,49	1,42	4,04	<b>5,50</b>	2,50	$\frac{34,76}{9,12}$
	садовая почва	<b>5,57</b>	3,88	1,42	2,93	4,32	1,80	$\frac{18,15}{2,21}$
	технозём	–	<b>5,74</b>	3,22	<b>6,65</b>	4,87	4,02	$\frac{78,40}{34,60}$
	отвалы	<b>8,71</b>	4,48	2,74	2,87	4,22	4,01	$\frac{26,65}{11,54}$
пгт. Новоширокинский	лесная почва	<b>6,57</b>	0,79	0,41	0,68	2,74	0,10	$\frac{4,65}{-}$
	почва с терр. ГОКа	–	4,63	2,00	<b>5,84</b>	<b>5,54</b>	3,73	$\frac{55,23}{18,52}$
	технозём	–	<b>5,79</b>	1,42	<b>5,87</b>	<b>6,82</b>	3,04	$\frac{85,77}{32,16}$
	отвалы	–	3,47	0,41	1,59	4,32	0,19	$\frac{13,70}{1,02}$
	фон (с. Тайна)	–	2,52	<b>7,49</b>	4,28	4,59	2,56	$\frac{21,64}{-}$
с. Нерчинский Завод	технозём	<b>7,57</b>	<b>8,85</b>	<b>7,32</b>	<b>9,39</b>	<b>8,95</b>	<b>7,06</b>	$\frac{701,91}{385,24}$
	почва с терр. ГОКа	<b>6,84</b>	<b>5,88</b>	4,50	<b>7,53</b>	<b>7,64</b>	<b>5,57</b>	$\frac{182,73}{80,76}$
	фон	–	3,18	0,41	4,31	4,32	2,11	$\frac{20,44}{1,66}$
с. Калга	фон	<b>7,34</b>	1,18	0,41	0,56	2,74	0,53	$\frac{4,94}{-}$
	садовая почва	–	1,79	0,41	–0,11	2,74	–0,58	$\frac{4,90}{-}$

		Окончание табл. 3						
Населенный пункт и тип проб		Ag	As	Cd	Pb	Sb	Zn	$\frac{Z_{CT}}{P_i}$
с. Кадая	технозём	<b>8,42</b>	<b>8,48</b>	<b>6,35</b>	<b>8,35</b>	<b>9,59</b>	<b>7,06</b>	$\frac{557,34}{306,90}$
	отвалы	–	<b>7,63</b>	<b>21,33</b>	<b>8,25</b>	<b>5,37</b>	4,76	$\frac{235,26}{115,94}$
	садовая почва	–	1,68	4,42	4,36	2,74	4,89	$\frac{55,91}{13,7}$
	технозём поймы р. Ср. Борзя	–	<b>8,21</b>	0,41	<b>9,36</b>	<b>8,24</b>	<b>7,06</b>	$\frac{518,37}{214,99}$
с. Воздвиженка	отвалы	–	<b>8,27</b>	3,59	<b>8,21</b>	<b>8,98</b>	<b>6,01</b>	$\frac{452,95}{319,33}$
	фон	–	4,40	<b>5,12</b>	3,95	4,74	2,03	$\frac{123,44}{5,57}$
р. Уров	пойма	–	4,62	1,42	4,08	<b>5,00</b>	2,17	$\frac{29,72}{7,55}$
	склон	–	0,41	0,41	0,18	2,74	0,35	$\frac{4,40}{-}$
п. Ново-Орловск	фон	–	0,41	0,41	0,10	2,59	–0,36	$\frac{3,94}{-}$
	технозём	–	1,49	0,41	–0,92	2,74	–0,89	$\frac{4,45}{-}$

Высокую информативность о степени воздействия на биосистемы имеет суммарный показатель загрязнения ( $Z_{CT}$ ), рассчитанный по коэффициентам техногенной концентрации в сравнении с кларками приоритетных загрязнителей для почв и урбанозёмов (табл. 3). Чрезвычайно опасными по интенсивности загрязнения были технозёмы сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка и поймы реки Средняя Борзя, с максимумом в 702 единицы. Оценка суммарного показателя загрязнения по кларкам в урбанозёмах имела гораздо более скромные значения, однако для всех перечисленных точек отбора проб он характеризовался чрезвычайной опасностью (табл. 3). Для большинства пунктов данный показатель лежал в пределах умеренной и высокой опасности, которые имели меньшие величины в сравнении с урбанозёмами.

Отмечается [7], что суммарный показатель загрязнения, даже с учётом коэффициента токсичности элементов ( $Z_{CT}$ ), не учитывает фоновое содержание конкретного элемента в субстрате. Это приводит к завышению его содержания, а в районах техногенных биогеохимических аномалий величины выходят за пределы нормирующих значений. Также формула не учитывает различие в токсичности поллютантов и влияние на их подвижность типа почвы. В связи

с этим полученные значения коэффициента суммарного токсикологического загрязнения имели максимумы для технозёмов и почв буферных зон – 385,24 (с. Нерчинский Завод), 306,90 (с. Кадая), 319,33 (с. Воздвиженка), что характеризовало их как имеющих опасный уровень загрязнения (табл. 3). В среднем технозёмы имели величину этого коэффициента 127,34 единицы. Для участка р. Средняя Борзя, где осуществляется добыча золота драгой, отмечается не только очень опасное загрязнение технозёмов ( $Z_{CT} = 518,37$ ,  $P_i = 214,99$ ), но и воды [11]. Авторы зафиксировали значительную загрязнённость водоёма ниже участка золотодобычи такими элементами, как Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg и Pb, при этом выше участка превышения выявлены только по Cu и Mn [11]. Эти данные позволяют охарактеризовать интенсивность перемещения токсичных элементов из твёрдой фазы в жидкую водную, и их дальнейшую миграцию с водотоком в реку Аргунь, что влияет на состояние местных экосистем и здоровье жителей района. При этом отмечается, что река Средняя Борзя является самой загрязнённой из 12 исследованных в российской части бассейна р. Аргунь. Причина интенсивной миграции As, Pb и Zn, вероятно, связана с локальной геохимической аномалией, сульфидные минералы в кото-

рой обогащены токсичными химическими элементами [12].

Для почв населённых пунктов уровень загрязнения имел допустимую или слабую степень загрязнения (среднее значение для этой группы почв составило 4,25) (табл. 3). Почвы фоновых участков имели крайне малые величины показателя и характеризовались как экологически чистые.

Данные по иным поверхностным и подземным водам [13], пункты отбора проб которых были расположены рядом с исследованными нами районами, не отражают зависимости между уровнем загрязнённости почвы или техноземов и воды.

### Заключение

Таким образом, абсолютные и относительные показатели для почв и техноземов в условиях горно-обогатительных предприятий Забайкалья имели высокую степень загрязнённости шестью токсичными элементами. Все химические элементы-загрязнители характеризуются как высокотоксичные, имеющие тенденцию к кумулятивному накоплению и вызывающие аутоиммунные патологии, нарушения обмена биогенных макро- и микроэлементов, способствуют канцерогенезу, оказывают тератогенный, нейротоксический и эмбриотоксический эффекты (в особенности мышьяк, свинец и кадмий). Большая часть исследованных районов находятся в границах биогеохимической аномалии, проявляющейся в форме йодо- и селенодефицита и болезнью Кашина-Бека [13–15]. Геохимические условия, возникающие в результате интенсификации миграции токсичных микроэлементов, в перспективе могут значительно ухудшить негативное действие природной аномалии.

### Список литературы / References

1. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития / Отв. ред. Г.А. Юргенсон. Новосибирск: Наука, 1999. 574 с.

Geological research and the mining and industrial complex of Transbaikalia: History, current status, problems, development prospects / Отв. ред. Г.А. Yurgenson. Novosibirsk: Nauka, 1999. 574 p. (in Russian).

2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов. М.: ГЕОХИ РАН, 2018. 386 с.

Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safonov V.A. Biogeochemical indication of microelementoses. M.: GEOKHI RAN, 2018. 386 p. (in Russian).

3. Михайлова Л.А., Солoduхина М.А., Алексева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э. Гигиеническая оценка содержания химических элементов в почве горнопромышленных районов Забайкальского края // Гигиена и санитария. 2019. № 4. С. 400–410. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-400-410.

Mikhailova L.A., Solodukhina M.A., Alekseeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E. Hygienic assessment of the content of chemicals in the soil of mining areas of the Trans-Baikal region // Gigiyena i sanitariya. 2019. № 4. P. 400–410 (in Russian).

4. Hammer O., Harpe D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica. 2001. vol. 4. no. 1. P. 1–9.

5. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.

Vodyanitsky Yu.N. Equations for assessing the total contamination of soils with heavy metals and metalloids. Eurasian Soil Science. 2010. V. 43. № 10. С. 1184–1188. DOI: 10.1134/S106422931010011X.

6. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.

Vodyanitskii Yu.N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils. Eurasian Soil Science. 2012. T. 45. № 3. С. 321–328. DOI: 10.1134/S1064229312030131.

7. Водяницкий Ю.Н. Оценка суммарной токсикологической загрязнённости почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Агрохимия. 2017. № 2. С. 56–63.

Vodyanitskii Yu.N. The evaluation of total toxicological contamination of soils with heavy metals and metalloids // Agrokimiya. 2017. № 2. P. 56–63 (in Russian).

8. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учётом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Под ред. Рихванова Л.П. Новосибирск: СО РАН, 2017. 426 с.

Biogeochemical monitoring of tailings of mining industry, taking into account microbiological factors of the mineral component transformation / Pod red. Rikhvanova L.P. Novosibirsk: SO RAN, 2017. 426 p. (in Russian).

9. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2013. 388 с.

Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soil residential landscapes. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy federal'nyy universitet. 2013. 388 p. (in Russian).

10. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.

Ivanov G. M. Microelements-biophiles in the landscapes of Transbaikalia. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2007. 239 p. (in Russian).

11. Куклин А.П., Цыбекмитова Г.Ц. Содержание токсичных элементов в воде и макроводорослях в водных объектах бассейна трансграничной реки Аргунь (Россия) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 30–35. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-030-035.

Kuklin A.P., Tsybekmitova G.Ts. Content of toxic elements in water and macroalgae of the Argun River (Russia) basin water courses // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2019. № 1. P. 30–35 (in Russian).

12. Абрамов Б.Н., Цыренов Т.Г. Оценка экологической опасности на окружающую среду хвостохранилищ некоторых сульфидных месторождений Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 35–41.

Abramov B.N., Tsyrenov T.G. Environmental hazard assessment on the environment of tailings of some sulfide deposits of Eastern Transbaikalia // Advances in current natural sciences. 2019. № 5. P. 35–41 (in Russian).

13. Замана Л.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В., Эпова Е.С., Солoduхина М.А., Михайлова Л.А., Копылова Ю.Г., Хвашевская А.А. Новые данные об элементном составе природных вод в районе распространения урвской (Кашина-Бека) болезни (Забайкальский край) //

Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 1. С. 121–133. DOI: 10.18799/24131830/2019/1/56.

Zamana L.V., Rikhvanov L.P., Soktoev B.R., Baranovskaya N.V., Epova E.S., Solodukhina M.A., Mikhailova L.A., Kopylova Yu.G., Khvashchevskaya A.A. New data on chemical composition of natural waters in the area of distribution of Urov (Kaschin-Beck) disease (Transbaikal region) // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2019. vol. 330. № 1. P. 121–133 (in Russian).

14. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Среда обитания и экологически обусловленные заболевания: проблемы диагностики и профилактики // *Забайкальский медицинский вестник*. 2014. № 3. С. 176–181.

Mihajlova L.A., Soloduhina M.A. Habitat and environmentally caused diseases: problems of diagnosis and prevention // *Zabajkal'skij medicinskij vestnik*. 2014. № 3. P. 176–181 (in Russian).

15. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Природные и антропогенные аномалии Забайкальского края // *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25224> (дата обращения: 25.02.2020).

Mihajlova L.A., Soloduhina M.A. Natural and anthropogenic anomalies of the Transbaikal Territory // *Modern problems of science and education*. 2016. № 5. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25224> (date of access: 25.02.2020) (in Russian).