
**ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

УДК 504.054:550.42

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ
г. ЗАКАМЕНСКА (БУРЯТИЯ):
ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЖИДИНСКОГО
ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА**

© 2016 г. С. Г. Дорошкевич*, О. К. Смирнова*, Б. В. Дампилова *, В. В. Гайдашев**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук,
ул. Сахьяновой, д. 6а, г. Улан-Удэ, 670047 Россия. E-mail: sv-dorosh@mail.ru*

***Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
ул. Ким Ю Чена, д. 65, г. Хабаровск, 680000 Россия. E-mail: itig@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.

После исправления 01.12.2015 г.

Оценено состояние почв и растительности территории г. Закаменска после осуществления мероприятий по устранению негативных воздействий производственной деятельности бывшего Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (ДВМК). Установлено сохранение тенденции увеличения загрязнения почв и растительности городской территории за период 2005–2012 гг. Проведенные в 2011 г. мероприятия по ликвидации последствий деятельности ДВМК привели к увеличению валовых содержаний тяжелых металлов в основном источнике загрязнения территории города – бывшем намывном хвостохранилище.

Ключевые слова: Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат, отходы обогащения, сульфидсодержащие руды, почва, растительность, городская территория, токсичные элементы, уровень загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат (ДВМК), перерабатывавший молибденитовые и сульфидно-гюбнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля, более 60 лет был одним из ведущих предприятий горнодобывающей промышленности нашей страны. В 1997 г. производство было законсервировано без проведения каких-либо работ по рекультивации “нарушенных” земель. На территории, граничащей с г. Закаменском, остались отходы обогащения руд (насыпное и намывное хвостохранилища, склад аварийных сбросов), общая масса которых ориентировочно составляет 50 млн т. Эти образования, в том числе самое крупное намывное хранилище отходов обогатительных фабрик, поверхность которого высохла, стали основными источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и другими токсичными элементами [20].

В 1990–1992 гг. Гуджирской ГРП Бурятского геологического управления впервые было проведено эколого-геохимическое картирование территории г. Закаменска, прилегающей к обогатительным фабрикам и хранилищам отходов обогатительного передела руд. Эти исследования показали, что зона загрязнения почв экологически опасными элементами с суммарным коэффициентом их концентрации (Z_c) более 32 охватывает около половины территории города. Экологическая обстановка на этой территории, по существующим нормативам [8, 13], оценивалась как кризисная (чрезвычайно опасная) и катастрофическая (экологическое бедствие). В центральной части города участки сильного и очень сильного загрязнения, в ряде случаев, были связаны с использованием техногенных песков для отсыпки дорог, территорий дворов жилых домов, детских учреждений. Площади среднего ($Z_c = 16–32$) и слабого ($Z_c = 8–16$) уровней загрязнения нахо-

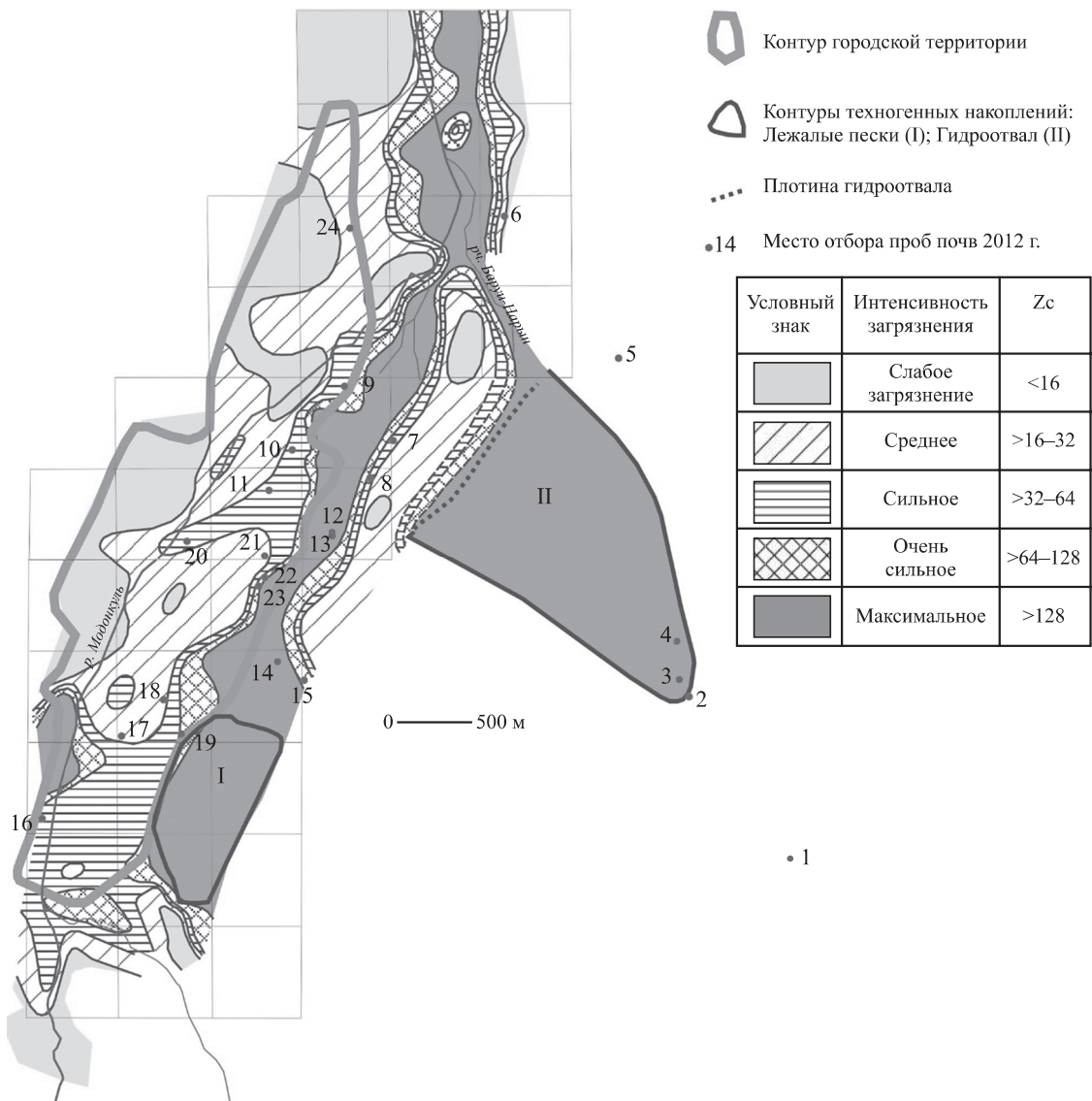


Рис. 1. Схема отбора проб на карте распределения суммарного показателя загрязнения почв территории г. Закаменска [18].

дидлись на периферии ореолов с высокими показателями загрязнения. Минимальное загрязнение ($Z_c < 8$) отмечалось на левобережье р. Модонкуль и в бортах ее долины.

В 2004–2005 гг. ГИН СО РАН [16, 18] было проведено повторное эколого-геохимическое картирование территории г. Закаменска. Результаты этих исследований показали, что заражение почв токсичными элементами 1 и 2-го классов экологической опасности увеличилось по сравнению с 1990–1992 гг. Общая площадь зон экологического бедствия и чрезвычайно опасной экологической ситуации составляла теперь 81.5% от общей территории города. Высокие концентрации токсичных металлов в почвах были установлены на территориях детских учреждений и школ, а также в местах отдыха населения (городской

парк, скверы). В 2006–2009 гг. в поверхностном слое лежалых техногенных песков была обнаружена тенденция к увеличению со временем содержания подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu), доступных для растительности, уменьшению общего содержания этих металлов, что свидетельствует о выносе их из хвостохранилища в прилегающие ландшафты [17]. В целом был сделан вывод о крайне неблагоприятном состоянии окружающей среды обитания людей на территории, прилегающей к промплощадкам бывшего Джидинского ВМК, а также о тенденции к ее ухудшению.

В интервью газете “Московский комсомолец” (февраль 2012 г.) первый заместитель министра МПР Бурятии А. В. Лбов сообщил, что “...по данным социально-гигиенического мониторинга,

Таблица 1. Характеристика почв в точках опробования

№ точки опробования	Местоположение	pH _{водн}	S _{орг.} , %	Гранулометрический состав
1	в 1000 м выше по течению руч. Барун-Нарын от границы тыловой части намывного хвостохранилища	5.80	51.9*	—
2	граница с тыловой частью хвостохранилища	3.29	47.2*	—
3	тыловая часть намывного хвостохранилища	3.01	0.31	супесь
4	тыловая часть намывного хвостохранилища	2.59	0.56	супесь
5	руч. Зун-Нарын, ниже дамбы пруда-отстойника фабрики вторичной переработки хвостов	5.89	2.12	л.с.
6	источник Известковый	5.92	1.65	супесь
7	снокос, правый борт склада аварийных сбросов	5.94	1.62	л.с.
8	выровненная площадь из-под вывезенных песков склада аварийных сбросов	4.62	28.8*	—
9	сквер, территория больницы	7.26	1.76	л.с.
10	городской парк, между спортивной и танцевальной площадками	5.96	1.78	л.с.
11	городской парк, рядом с д/с Чебурашка	6.78	1.60	л.с.
12	снокос, ул. Джидинская, 9	5.17	0.89	л.с.
13	огород, ул. Джидинская, 7	6.78	1.12	л.с.
14	огород, ул. Нагорная, 11	5.82	1.02	л.с.
15	выгон, ул. Фабричная, напротив дома № 8	6.15	1.09	л.с.
16	огород, ул. Горняцкая, 115	7.84	1.36	л.с.
17	сквер агропромышленного колледжа, ул. Гагарина, 14а	5.83	1.42	л.с.
18	спортивная площадка школы № 5, ул. Гагарина	6.81	0.35	песок
19	детская площадка жилого дома, ул. Ленина, 45	7.34	0.42	песок
20	детская площадка д/с Ягодка, ул. Крупской, 27	7.59	0.96	супесь
21	детская площадка д/с Солнышко, ул. Конституции, 7	7.56	1.06	л.с.
22	огород, ул. Баирова, 20	7.43	1.98	л.с.
23	огород, ул. Баирова, 18	6.12	1.40	л.с.
24	огород, ул. Лучезарная, 14	6.68	2.94	л.с.
25	снокос, дачи – 17 линия	5.72	1.43	л.с.
26	огород, дачи – 17 линия	7.43	1.45	л.с.

Примечание. * Потеря при прокаливании, %; прочерк – не определялось; л.с. – легкий суглинок.

проводимого в период с 1996 по 2011 гг., относительный показатель заболеваемости населения (г. Закаменска. Прим. авторов) составил в 2011 г. 74349.8 случаев на 100 тыс. населения, что выше по сравнению с 1998 г. в 1.4 раза. По результатам анализа многолетней динамики заболеваемости, по сравнению с 1998 г., увеличение произошло по следующим классам болезней: новообразования – в 40.8 раза, болезни крови – в 2.4 раза, болезни системы кровообращения – в 3.4 раза, болезни органов дыхания – в 2 раза, болезни системы органов пищеварения – в 1.8 раза. Уровень онкологической заболеваемости составил в 2011 г. 260.9 случаев на 100 тыс. населения, что выше по сравнению с 1996 г. в 1.3 раза. Таким образом, оценка экологического состояния окружающей среды однозначно свидетельствует о кризисности ситуации и подтверждает необходимость реализации мероприятий по ликвидации накопленного экологического ущерба” [3].

В 2011–2012 гг. был реализован I этап программы мероприятий МПР России по устранению негативных воздействий на Закаменск производственной деятельности бывшего ДВМК. На массив намывного хвостохранилища обогатительной фабрики ДВМК было перемещено 3.2 млн т лежалых хвостов из насыпного и аварийного хранилищ отходов обогащения руд. Перемещение техногенного песчаного материала осуществлялось открытым способом с использованием грузового транспорта.

Цель настоящей работы – отображение результатов очередного эколого-геохимического исследования городской территории для оценки ее фактического состояния после проведения мероприятий по устранению негативных воздействий производственной деятельности ДВМК.

МЕТОДИКА

Методы и методика исследований компонентов окружающей среды, использованные в данной работе, в целом аналогичны таковым в период подобных исследований 2004–2005 гг. Пробы почвы и растительности отбирали в г. Закаменске на территориях детских садов и образовательных учреждений (школа, агропромышленный колледж), на детских площадках около многоэтажных жилых домов, огородах (в районе частной застройки вдоль автомобильной трассы, по которой перевозили техногенные пески), в левом и правом борту долины р. Модонкуль (на окраинах города), а также на дачных участках СДТ “Горняк”, распо-

ложенных в дельте р. Модонкуль – при впадении ее в р. Джида (рис. 1, табл. 1).

Отбор проб почв проводился методом конверта со сторонами 20 м до глубины 10 см. В пробах почвы определялось валовое содержание химических элементов 1, 2 и 3-го классов экологической опасности: Pb, As, Zn, Cd, F, Mo, Cu, W, Sb, Cr и других по методике “измерений массовых концентраций валовых форм элементов” на энергодисперсионном поляризационном рентгеновском спектрометре ЭДПРС-1 [6] в навеске, истертой до состояния пудры. Содержание в почве подвижных кислоторастворимых соединений меди, цинка, свинца, никеля определено по ГОСТу Р50686-94, РД 52.18.191-89 [4, 11] с окончанием методом атомно-эмиссионной спектроскопии в индукционно связанной плазме.

Растения отбирали в точках (т.) отбора почвенных проб. Опробована надземная часть травянистой растительности (разнотравно-бобово-злаковая ассоциация и осоки), листья березы, тополя, капусты и салата, ботва и клубни картофеля. Содержание химических элементов в пробах определялось в навеске воздушно-сухого вещества методом кислотного разложения ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 на приборе ICP-MS Elan 9000 PerkinElmer (USA) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре. Результаты спектрального анализа золы растительных проб 2005 г. пересчитаны на сухое вещество с использованием литературных данных о зольности растений [19].

Для оценки интенсивности накопления химических элементов в почве и растениях использованы обычные геохимические показатели [12] – коэффициент концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c), определенные по формулам:

$$K_c = C / C_f, \quad (1)$$

где C – содержание элемента в пробе почвы или растения на изучаемом участке, C_f – то же в аналогичной среде на фоновом участке;

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (2)$$

где n – число элементов с $K_c > 1.0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных авторами в 2012 г., выделен ряд элементов (Pb, Zn, Cd, As, Mo, Cu, Ni, Sb и W), общее содержание которых в поверхностном (0–10 см) слое почв превышает фоновые значения. По этим элемен-

Таблица 2. Общее содержание химических элементов в почвах (мг/кг) и оценка их загрязнения

№ точки опробования	Pb	Zn	Cd	As	Mo	Cu	Ni	Sb	W	Zc	Уровень загрязнения по [5]
6	24	40	н/о	н/о	н/о	36	43	н/о	н/о	2.76	допустимое
20	13	62	н/о	н/о	2.8	32	49	н/о	н/о	3.70	
18	11	34	н/о	н/о	3.3	27	50	н/о	н/о	3.82	
5	20	49	н/о	н/о	н/о	37	65	2.7	н/о	5.06	слабое
21	11	85	н/о	н/о	3.4	48	79	3.5	н/о	8.20	
11	24	137	н/о	н/о	8.0	58	33	5.3	н/о	11.80	
17	40	74	н/о	6	8.9	48	49	4.4	н/о	12.10	среднее
10	30	108	1.7	14	12	46	28	4.7	н/о	17.24	
24	67	275	н/о	н/о	11	65	41	5.0	н/о	17.71	
1	102	110	н/о	12	14	40	21	4.2	н/о	17.81	очень сильное
15	92	84	н/о	н/о	17	60	39	5.1	н/о	20.19	
9	86	223	1.5	32	13	54	38	4.9	н/о	25.85	
7	65	126	н/о	24	20	56	45	4.9	н/о	25.29	максимальное
14	140	277	н/о	н/о	15	75	46	8.9	н/о	27.43	
16	132	970	1.8	н/о	4.0	85	33	7.3	н/о	29.29	
13	237	325	н/о	н/о	33	100	36	21.5	н/о	55.36	очень сильное
8	62	352	3.0	17	46	70	44	14.4	н/о	57.39	
2	500	27	н/о	н/о	4.0	650	37	5.1	н/о	57.93	
19	201	143	3.6	н/о	43	75	41	15.3	н/о	58.33	очень сильное
25	270	160	н/о	н/о	63	85	42	19.1	н/о	72.26	
26	323	200	2.0	н/о	132	90	40	18.0	н/о	123.19	
22	1186	550	4.1	н/о	100	110	25	60	н/о	181.56	максимальное
12	632	360	2.8	19	161	110	33	45.1	280	221.31	
3	1400	400	3.2	31	39	130	32	9	1380	293.21	
4	1040	1180	41	53	27	180	41	10.5	1130	330.43	максимальное
23	2200	380	4.7	н/о	107	200	28	120	500	347.92	
ОДК [2], *ПДК [1]	130	220	2.0	10	—	132	80	*4.5	—		
Фон [18]	24	83	0.5	5	1.5	20	22	1.2	7.5		
Среднее содержание в почвах мира по [21]	27	70	0.41	6.83	1.1	38.9	29	0.67	1.7		

Примечание. н/о – не обнаружено; прочерк – нет данных; выделение жирным шрифтом – превышение ОДК (ПДК), курсивом – превышение фона.

там рассчитан показатель суммарного загрязнения этого слоя почвы (табл. 2).

К участкам с допустимым уровнем загрязнения ($Z_c = 2.76-5.06$) отнесены почвы на детской площадке д/с Ягодка, спортивной площадке школы № 5, аллювиальные почвы источника «Известковый» и руч. Зун-Нарын. На данных объектах вы-

явлено повышенное (относительно фона) содержание Cu – в 1.35–1.85 и Ni – в 1.96–2.96 раз. На детской площадке и около школы в почвах повышено содержание Mo (в 1.87 и 2.2 раз, соответственно), а в аллювиальных почвах руч. Зун-Нарын ниже дамбы пруда-отстойника фабрики вторичной переработки хвостов – Sb (в 2.25 раза).

Таблица 3. Общее содержание химических элементов 1–3-го классов опасности в почвах г. Закаменска и уровень их загрязнения (сопоставление результатов опробования 2005 и 2012 гг.)

Элемент	Класс экологической опасности элемента	Пределы содержаний, мг/кг почвы		Уровни загрязнения по [10]	
		2005 г. [18]	2012 г.	2005 г.	2012 г.
As	I	3–50	6–32	очень высокий	средний
Cd		1.7–14	1.5–4.7		
Pb		15–870	10–2 200		
Zn		70–1 000	34–550		
F		50–13 000	300–6 700		
Mo	II	1.3–60	2.4–161	очень высокий	средний
Cu		23–830	27–200		
Sb		2.6–120	3.5–120		
Cr		20–190	52–175		
W		30–100	30–500		
Mn	III	1 000–3 000	770–5 340		
Sr		100–590	227–990		

К участкам со слабым уровнем загрязнения ($Z_c = 8.2–12.1$) отнесены почвы на детской площадке д/с Солнышко, в сквере агропромышленного колледжа и городском парке около д/с Чебурашка. В данных точках опробования выявлено превышение фоновых значений по Mo (в 2.27–5.93 раз), Cu (в 2.4–2.9 раз), Ni (в 1.5–3.59 раз) и Sb (в 2.92–4.42 раз). Небольшое превышение фона (до 2 раз) по отдельным точкам опробования отмечено для Pb, As, Zn и Sb.

К участкам со средним уровнем загрязнения ($Z_c = 17.24–29.29$) отнесены почвы городского парка (рядом с танцевальной и спортивной площадками), территории больницы, огородов по ул. Лучезарная, Нагорная и Горняцкая, выгона по ул. Фабричной, сенокоса по правому борту склада аварийных сбросов, а также аллювиальные почвы в 1000 м выше по течению руч. Барун-Нарын от границы тыловой части хвостохранилища. На этих участках установлено превышение фоновых значений для Pb (в 1.25–5.83 раз), Zn (в 1.01–11.7 раза), Mo (в 2.67–13.3 раз), Cu (в 2.0–4.25 раз), Ni (в 1.27–2.09 раз) и Sb (в 3.5–7.42 раза). В почвах городского парка и на территории больницы содержание Cd превышает фон в 3.0–3.4 раз. В огородной почве (т. 14, 16, 24) отмечено превышение ОДК по Pb и Zn. Содержание As превышает его

ОДК в 1.2–3.2 раза в районе склада аварийных сбросов, на территории больницы и городского парка (т. 1, 7, 9, 10). Практически во всех точках опробования содержание Sb превышает ее ПДК – в 1.04–1.98 раз.

Сильно ($Z_c = 55.36–58.33$) и очень сильно ($Z_c = 72.26–123.19$) загрязнены почвы участков, максимально приближенных к хранилищам отходов переработки руд или к местам, где проводились работы по перемещению техногенных отходов (огород по ул. Джидинской, 7 и детская площадка во дворе по ул. Ленина, 45). Содержание Pb в этих почвах превышает фоновые значения в 2.58–20.8 раз, Zn – в 1.72–4.25 раз, Mo – в 2.67–2.88 раза, Cu – в 3.5–32.5 раза, Ni – в 1.64–2.0 раза и Sb – в 4.25–17.9 раз. Превышение относительно ОДК (ПДК) составляет по Pb 1.55–3.85 раз и Sb 1.13–4.78 раза. В отдельных точках отмечено превышение содержаний относительно ОДК по Zn в 1.48–1.6 раз (т. 8 и 13), Cd в 1.5–1.8 раз (т. 8 и 19), As в 1.7 раз (т. 8) и Cu в 4.92 раза (т. 2).

К участкам с максимальным уровнем загрязнения ($Z_c = 181.56–347.92$) отнесены почвы огородов по ул. Баирова и сенокоса по ул. Джидинской, непосредственно граничащих с хвостохранилищем аварийных сбросов, а также техногенные пески тыловой части бывшего намывного хво-

стохранилища. На этих участках установлено превышение ОДК (ПДК) по Pb (в 4.86–16.9 раз), Zn (в 1.64–5.36 раз), Cd (в 1.4–20.5 раз), As (в 1.9–5.3 раз), Sb (в 2.0–26.7 раз) и фоновых значений по Mo (в 18.0–107.3 раз), Cu (в 5.5–10.0 раз), Ni (в 1.14–1.86 раз) и W (в 37.3–184.0 раз). В точках опробования 4 и 23 выявлены концентрации Cu в 1.36–1.52 раза выше ОДК.

Таким образом, обобщая приведенную выше информацию, следует отметить, что уровень загрязнения почв г. Закаменска токсичными элементами 1–3-го классов опасности за время, прошедшее после проведения последнего эколого-геохимического картирования городской территории (2005 г.), мало изменился (табл. 3). В верхнем слое почв несколько понизилось валовое содержание As, Cd, Zn, F, Mo, Cu, W и увеличилось содержание Mn, Pb, Sr. Уровень загрязнения верхнего слоя почв Pb повысился от высокого до очень высокого, Zn – остался высоким, Cd и Cu – понизился с очень высокого до среднего.

Сравнение структуры геохимических аномалий в отдельных пунктах опробования верхнего слоя рыхлых образований г. Закаменска (табл. 4) показало, что за период с 2005 по 2012 г. в зонах сильного и максимального загрязнения (поверхность намывного хвостохранилища и центральная часть города, возле насыпного хвостохранилища) увеличилось содержание W, Pb, Mo, Cd и ряда других токсичных элементов. В то же время на территориях детских садов и школ уменьшился показатель суммарного загрязнения почв (с 32–92 до 4) и сократился спектр загрязняющих токсичных элементов. Это, несомненно, связано

с проведенными муниципалитетом города работами по замене на территории детских учреждений верхнего слоя грунтов чистой привозной почвой.

В верхнем слое почв на территории Закаменска содержится достаточно большое количество подвижных форм ряда тяжелых токсичных металлов (рис. 2).

На участках с уровнем загрязнения почв от допустимого до среднего ($Z_c = 2.76–22.29$) содержание кислоторастворимой формы Pb ниже ПДК; лишь в некоторых точках опробования (7, 14 и 24) ее количество превысило в 1.03–1.56 раз этот показатель. Низкое содержание подвижной формы Pb, несмотря на достаточно высокое общее его содержание (см. табл. 2), на участке, находящемся в 1000 м выше по течению руч. Барун-Нарын от границы тыловой части хвостохранилища (0.3 мг/кг), связано с высоким содержанием органического вещества в верхнем горизонте почв, обусловившим депонирование Pb в виде металлоорганических соединений; на огородном же участке по ул. Горняцкой (1.6 мг/кг), и со слабощелочной реакцией среды (см. табл. 1). На остальной части обследованной территории, с уровнем загрязнения от сильного до максимального, содержание кислоторастворимой формы Pb находится в пределах 12.0–237.5 мг/кг, что в 2.0–39.6 раза выше ПДК (см. рис. 2).

Содержание кислоторастворимой формы Zn при допустимом уровне загрязнения почв ниже ПДК; при уровне загрязнения почв от слабого до максимального – близко к ПДК или превышает его в 1.29–10.2 раз. Исключение составляют

Таблица 4. Структура геохимических аномалий в почвах г. Закаменск и суммарный показатель их загрязнения (Z_c) в отдельных пунктах опробования в 2005 г. (числитель) и 2012 г. (знаменатель)

Пункт опробования	Ассоциация химических элементов*	Z_c
Намывное хвостохранилище	$W_{130}Pb_{44}Cu_{11}Zn_7Mo_7$	$\frac{195}{299}$
Центральная часть города, ул. Ленина	$W_{184}Pb_{58}Mo_{26}F_8Sb_{7.5}Cu_{6.5}Cd_{6.4}As_{6.2}Zn_{4.8}$	$\frac{31}{58}$
	$W_8Mo_8Sb_{4.6}Pb_{4.5}Cd_4Zn_3F_{2.9}Cu_{2.6}As_{1.4}$	$\frac{31}{58}$
Городская территория на левой низкой террасе р. Модонкуль	$Mo_{29}Sb_{13}Pb_{8.4}Cd_{7.2}Cu_{3.8}Ni_{1.9}Zn_{1.7}$	$\frac{33}{32}$
	$Mo_{10}W_9Sb_5Cd_4Pb_4F_{2.7}Cu_{2.6}Zn_{2.5}As_{1.1}$	$\frac{33}{32}$
Городской парк	$Zn_{12}Sb_6Pb_{5.5}Cu_{4.3}Cd_{3.6}F_3Mo_{2.7}Ni_{1.5}$	$\frac{35}{18}$
	$Mo_{15}W_{7.5}Sb_{5.6}Cd_5Pb_3Zn_3Cu_2$	$\frac{35}{18}$
Территория школы	$Mo_8Sb_{3.9}Cd_{3.4}As_{2.8}Cu_{2.3}F_{1.5}Zn_{1.3}Pb_{1.3}Ni_{1.3}$	$\frac{32}{4}$
	$W_{11}Cd_{7.6}Mo_6Sb_{4.7}Pb_3Zn_{2.8}Cu_{2.7}As_{1.2}$	$\frac{32}{4}$
Территория д/с Ягодка	$Ni_{2.3}Mo_{2.2}Cu_{1.4}F_{1.2}$	$\frac{92}{4}$
	$Mo_{24}W_{23}Pb_{20}Sb_{12}Cd_8Cu_7Zn_3As_{1.6}$	$\frac{92}{4}$
	$Ni_{2.2}Mo_{1.8}Cu_{1.6}F_{1.2}$	$\frac{92}{4}$

Примечание. *Численный нижний индекс элемента – коэффициент его концентрации.

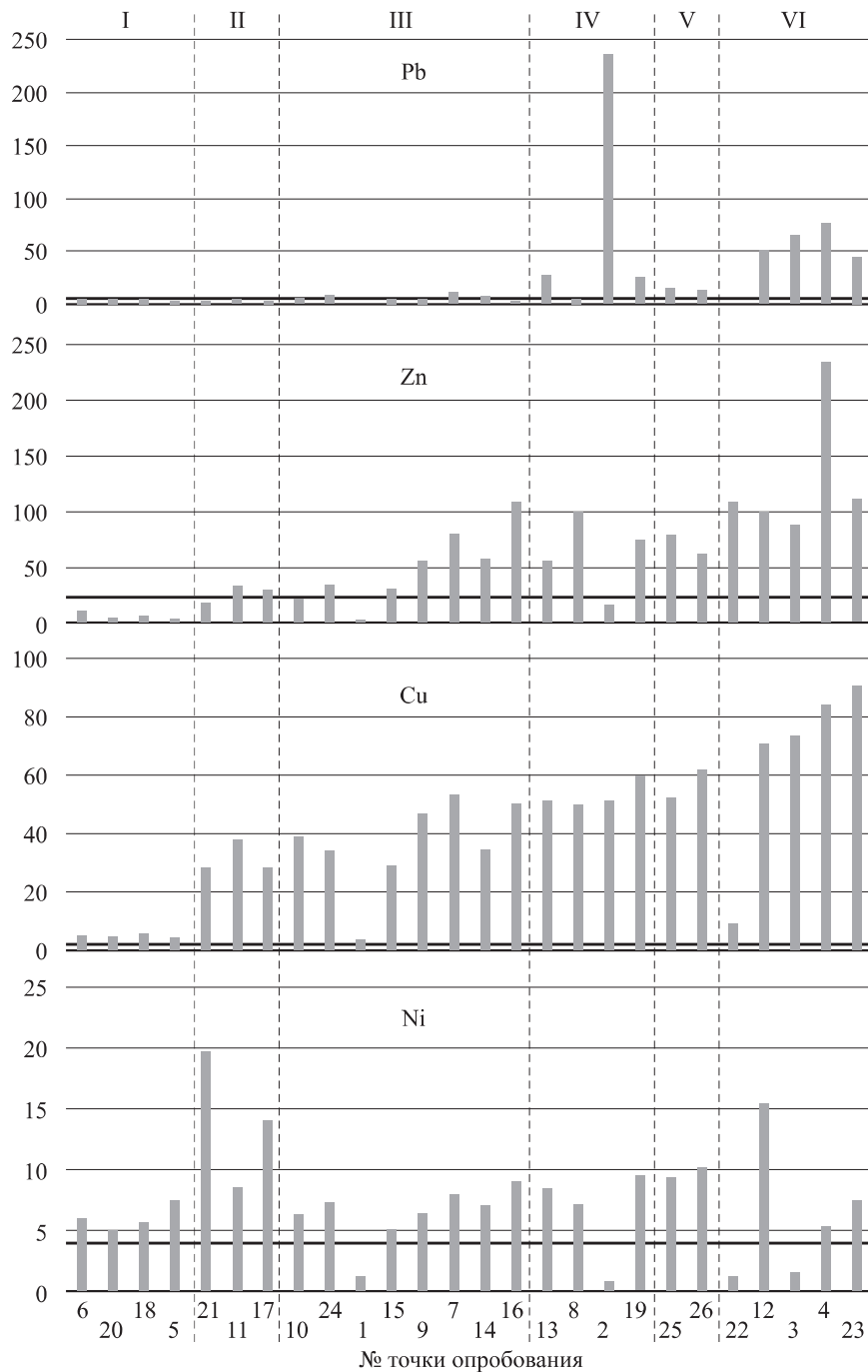


Рис. 2. Содержание подвижной формы химических элементов в почвах г. Закаменска, мг/кг. Сплошной линией обозначен уровень ее ПДК [1] для: Pb – 6.0; Zn – 23.0; Cu – 3.0; Ni – 4.0. Римскими цифрами показан уровень загрязнения: допустимый (I), слабый (II), средний (III), сильный (IV), очень сильный (V), максимальный (VI).

участки на точках опробования 1 и 2, где содержание подвижной формы Zn ниже ПДК.

На всей изученной территории Cu в кислоторастворимой форме содержится в количестве, существенно превышающем ПДК (в 1.43–30.0 раз), что, вероятно, связано с интенсивным ее высвобождением при окислении халькопирита, повсеместно распространенного в Джидинском рудном узле.

Содержание подвижных форм Ni в основном колеблется в пределах 4.9–19.7 мг/кг, что в 1.23–4.93 раз выше ПДК. Исключением являются почвы в точках опробования 1, 2, 3 и 22, где их содержание составляет 0.8–1.4 мг/кг, что в 2.86–5 раз ниже ПДК. В почвах концентрации Ni снижаются при повышении кислотности почвенного раствора, а в верхних горизонтах почв Ni в целом

Таблица 5. Содержание химических элементов в растениях (мг/кг воздушно-сухой массы) и показатель их суммарного загрязнения (2012 г.)

№ точки опробования	Характеристика растительного образца	Pb	Zn	Cd	As	Mo	Cu	Ni	Sb	W	Z _c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зона допустимого загрязнения почв											
6	осока, надземная часть	0.04	6.24	0.01	0.19	0.27	0.53	н/о	н/о	0.18	1.7
20	трав. раст-ть, надз. часть	1.33	42.34	0.12	0.41	1.87	10.45	4.74	0.05	0.43	20.8
18	трав. раст-ть, надз. часть	1.37	42.32	0.22	0.34	4.02	8.81	3.36	0.05	0.73	29.0
5	трав. раст-ть, надз. часть	н/о	4.67	0.02	0.04	0.66	2.26	0.65	н/о	0.10	2.3
Зона слабого загрязнения почв											
21	трав. раст-ть, надз. часть Береза, лист	1.01	39.91	0.14	0.07	3.30	11.09	2.94	0.04	0.57	22.6
11	трав. раст-ть, надз. часть	1.80	168.36	0.40	0.03	1.41	7.75	1.84	0.08	1.17	41.6
17	трав. раст-ть, надз. часть Тополь, лист	0.42	43.34	0.87	0.28	5.05	7.69	1.28	0.04	0.87	40.6
10	трав. раст-ть, надз. часть Тополь, лист	1.53	231.97	4.86	0.07	1.01	5.71	1.34	0.07	2.16	109.3
10	трав. раст-ть, надз. часть Береза, лист	1.00	47.49	0.14	0.13	3.77	10.92	5.92	0.05	0.59	27.8
10	трав. раст-ть, надз. часть тополь, лист	1.27	306.25	2.92	0.14	1.11	12.59	<i>11.61</i>	0.05	0.95	88.9
10	трав. раст-ть, надз. часть береза, лист	2.48	227.65	0.32	0.16	0.37	9.65	<i>4.11</i>	0.10	1.53	38.8
10	трав. раст-ть, надз. часть тополь, лист	1.29	57.08	0.75	0.15	5.04	6.75	4.23	0.13	0.95	44.9
10	трав. раст-ть, надз. часть береза, лист	1.20	191.75	2.63	0.12	0.56	6.10	<i>12.76</i>	0.05	2.47	77.4
10	трав. раст-ть, надз. часть береза, лист	1.10	538.57	1.09	0.07	0.32	6.00	5.88	0.05	2.03	70.6
Зона среднего загрязнения почв											
24	капуста, лист	1.62	16.33	0.42	0.08	22.06	4.22	2.34	0.06	1.27	14.6
1	картофель, клубень	0.45	11.94	0.05	н/о	1.44	4.46	2.04	0.01	0.48	14.1
1	картофель, ботва	4.04	25.52	0.60	0.13	4.06	7.95	4.14	0.18	1.53	22.0
15	трав. раст-ть, надз. часть	1.02	43.01	0.32	0.04	0.19	4.95	0.86	0.02	0.45	14.2
15	трав. раст-ть, надз. часть	0.03	81.79	0.06	0.02	<i>1.50</i>	7.85	1.88	н/о	0.14	23.2
15	трав. раст-ть, надз. часть	2.31	53.99	0.41	0.16	13.22	11.26	3.18	0.06	0.99	66.4
9	трав. раст-ть, надз. часть	4.45	136.34	0.24	0.05	0.64	6.48	5.98	0.13	1.99	40.8
9	трав. раст-ть, надз. часть	2.39	70.63	0.51	0.58	14.31	9.84	14.82	0.05	1.22	84.9
7	трав. раст-ть, надз. часть	1.65	169.38	1.66	0.08	1.52	5.01	1.83	0.11	2.48	67.8
7	трав. раст-ть, надз. часть	0.88	326.74	0.45	0.05	0.75	4.27	7.40	0.04	1.21	46.3
16	трав. раст-ть, надз. часть	2.36	43.61	0.33	0.61	12.06	8.06	1.59	0.09	1.19	62.1
14	капуста, лист	8.93	367.36	0.47	0.13	2.47	10.93	3.74	0.34	4.22	106.0
14	капуста, лист	1.04	110.63	0.58	0.12	50.75	5.02	5.97	0.06	4.57	48.2
14	капуста, лист	0.77	50.78	0.42	0.13	113.95	3.86	1.72	0.07	3.54	38.3
14	салат, лист	3.34	51.99	0.36	0.24	16.26	9.23	1.03	0.15	0.96	21.3

Таблица 5 (окончание)

№ точки опробования	Характеристика растительного образца	Pb	Zn	Cd	As	Mo	Cu	Ni	Sb	W	Z _c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зона сильного загрязнения почв											
19	трав. раст-ть, надз. часть тополь, лист	13.23	89.99	2.63	0.28	10.32	17.32	6.90	0.75	4.57	141.8
		5.22	239.10	4.88	0.15	4.79	10.12	2.86	0.45	3.81	179.2
13	салат, лист картофель, клубень картофель, ботва	5.77	81.18	1.71	0.19	26.15	9.37	1.08	0.59	3.53	77.2
		0.24	26.42	0.07	0.01	5.83	6.82	0.34	0.04	0.29	37.0
		3.89	47.58	0.57	0.81	26.96	12.24	1.45	0.44	3.07	69.3
Зона очень сильного загрязнения почв											
25	трав. раст-ть, надз. часть	0.87	58.08	0.76	0.01	5.06	9.04	4.08	0.04	0.34	40.9
26	Капуста, лист	3.09	36.26	1.10	0.09	138.82	4.64	3.91	0.13	3.36	50.4
Зона максимального загрязнения почв											
22	капуста, лист	3.92	62.76	1.12	0.10	270.22	2.93	2.17	0.27	9.30	104.0
12	трав. раст-ть, надз. часть	3.24	67.15	1.60	0.12	15.35	7.96	1.50	0.14	1.84	98.0
23	картофель, клубень картофель, ботва	4.02	30.03	0.29	-	3.23	9.23	1.23	0.21	0.33	39.8
		112.20	212.71	8.62	0.69	19.69	29.00	5.59	4.37	14.25	376.7
	береза, лист	118.80	610.12	4.24	0.54	3.02	27.34	9.70	3.80	7.43	482.5
	МДУ в картофеле/овощной продукции [15]	2.0/7.0	-	0.12/0.43	0.8/2.9	-	-	-	-	-	-
	МДУ в грубых кормах [14]	5.0	50.0	0.3	0.5	2.0	30.0	3.0	-	-	-
	Пределы нормальных концентраций [9]	0.1-5.0	15-150	0.05-0.2	0.1-1.0	-	2.0-12	0.4-3.0	0.06	-	-
	Пределы средних содержаний в пищевых растениях [21]	0.1-10	1.2-73	0.01-0.66	0.009-1.5	0.07-1.75	0.6-15	0.2-3.7	0.06	0.01-0.15	-
	Пределы средних содержаний в травах [21]	0.36-7.8	12-47	0.07-0.27	0.02-0.33	0.33-1.5	1.1-	0.1-1.7	-	-	-
	Пределы концентраций в листьях [21]	5-10	27-150	0.05-0.2	1-1.7	0.2-5	5-30	0.1-5	7-50	-	-

Примечание. н/о – Не обнаружено; прочерк – нет данных; выделение жирным шрифтом – превышение МДУ, курсивом – превышение нормальных и/или средних концентраций в растениях.

связан с органическим веществом [21]. Подобные закономерности подтверждены полученными нами данными (см. табл. 1, рис. 2).

Следует добавить, что количество подвижных форм Zn и Cu в верхнем горизонте почв коррелирует с уровнем загрязнения исследуемой территории: чем выше уровень загрязнения, тем больше содержание подвижных форм этих элементов в почве. Содержание подвижных форм Zn и Cu составляет в среднем (в мг/кг) при допустимом уровне загрязнения – 5.5 и 5.6, слабом – 27.0 и 32.0, среднем – 48.4 и 36.5, сильном – 60.9 и 52.9, очень сильном – 69.7 и 56.9, максимальном – 127.2 и 65.4, соответственно. Для Pb и Ni такой связи не отмечено.

Растения в зоне допустимого загрязнения почв характеризуются в целом низкими содержаниями токсичных элементов (табл. 5). Незначительные превышения максимально допустимого уровня (МДУ) отмечены в точках наблюдения 18 и 20 по Ni – в 1.12–1.58 раз, соответственно, и в т. 18 по Mo – в 2.01 раза.

В надземной части травянистой растительности в зоне слабого уровня загрязнения почв отмечены превышения МДУ содержаний лишь в отдельных точках: по Zn в 1.14 раз (т. 10), по Cd – в 2.5 и 2.9 раз (т. 10 и 11, соответственно), по Ni в 1.41 и 1.97 раз (т. 10 и 17, соответственно) и Mo – в 1.65–2.53 раза (т. 10, 11, 17, 21). В растениях в точках опробования 10, 11, 17 и 21, зафиксированы содержания Zn и Cd, превышающие средние (по миру) содержания этих элементов в листьях и травах.

В надземной части травянистой растительности в зоне среднего уровня загрязнения почв отмечены превышения МДУ содержания Zn в 1.08–1.41 раз (т. 9 и 15), Cd в 1.07–1.7 раз (т. 1, 7, 9, 15 и 24), As в 1.16–1.22 раза (т. 7 и 9), Ni в 1.06–4.91 раз (т. 9, 15 и 24) и Mo в 2.03–7.16 раза (т. 7, 9, 15 и 24).

В растениях в зоне сильного и очень сильного уровней загрязнения почв установлены превышающие МДУ содержания: в надземной части травянистой растительности Pb в 2.65 раза (т. 19), Zn в 1.16–1.8 раз (т. 19 и 25), Cd в 1.9–8.77 раза (т. 13, 19 и 25), As в 1.62 раза (т. 13), Ni в 1.36–2.3 раза (т. 19 и 25) и Mo в 2.53–13.5 раз (т. 13, 19 и 25); в листьях салата и капусты Cd в 3.98 и 2.56 раза, соответственно (т. 13 и 26).

В растениях зоны максимального уровня загрязнения почв отмечены превышающие МДУ содержания: в надземной части травянистой ра-

стительности – Zn (в 1.34 раза), Cd (в 5.33 раза) и Mo (в 7.68 раз); в листьях капусты – Cd (2.61 раза); в клубнях картофеля – Pb (в 2.01 раза) и Cd (в 2.42 раза); в ботве картофеля – As (в 1.38 раз), Ni (в 1.86 раз), Zn (в 4.25 раз), Mo (в 9.85 раз), Pb (в 22.4 раза) и Cd (в 28.7 раз).

Во всех точках наблюдения зон загрязнения от сильного до максимального в растениях отмечено превышение нормальных концентраций Sb.

Несмотря на то, что содержание подвижной формы Cu в почвах превышает ПДК (см. рис. 2), растения во всех изученных зонах загрязнения ее не накапливали. Это можно объяснить конкурирующим поведением Zn и Mo в процессах аккумуляции Cu растениями [21]. Лишь в отдельных точках опробования (т. 19 – сильное загрязнение почв и т. 23 – максимальное загрязнение почв) отмечены концентрации Cu, незначительно превышающие предел нормальных содержаний (см. табл. 5). Pb в растениях изученной территории практически не накапливается.

Согласно предложенной В. А. Касатиковым [7] классификации по значениям показателя суммарного загрязнения, растения можно разделить на три группы: слабо- ($Z_c < 3$), средне- ($Z_c = 3-10$) и сильнозагрязненные ($Z_c > 10$). В соответствии с данной классификацией практически все растения в г. Закаменске и на прилегающих к нему территориях относятся к сильнозагрязненным (Z_c от 14.1 до 482.5). Только в двух точках опробования (5 и 6) растения слабо загрязнены – это источник “Известковый” и руч. Зун-Нарын ($Z_c = 1.7-2.3$). Все изученные растения по степени уменьшения уровня накопления токсичными элементами можно выстроить в следующий ранжированный ряд: лист березы – лист тополя – ботва картофеля – травянистая растительность – лист салата – лист капусты – клубень картофеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследований, проведенных в 2012 г., позволяет сделать следующие выводы.

1. Уровень загрязнения почв на территории г. Закаменска и прилегающих к нему площадях тяжелыми металлами и другими потенциально токсичными элементами за период 2005–2012 гг. изменился в целом незначительно. Несколько понизилось валовое содержание в почвах As, Cd, Zn, F, Mo, W и Cu, увеличилось содержание Mn, Sr и Pb. Эти данные хорошо согласуются с ранее установленной тенденцией к возрастанию со вре-

менем подвижности Pb в лежалых хвостах [17] и, как следствие, увеличению его общей концентрации в почвах, прилегающих к хвостохранилищу территорий.

2. Высокие валовые концентрации токсичных элементов территориально примыкают к автомобильной трассе, по которой в 2011 г. вывозили на намывное хвостохранилище лежалые отходы обогащения из насыпного хвостохранилища и склада аварийных сбросов. В результате существенно увеличилось содержание токсичных элементов в почвах частных огородов по ул. Джидинской и ул. Баирова. По показателю суммарного загрязнения они характеризуются как зоны максимального загрязнения ($Z_c > 182$).

3. Установлено, что количество подвижных форм токсичных элементов в верхнем горизонте почв и, прежде всего Zn и Cu, в первую очередь зависит от уровня ее загрязнения: чем выше уровень загрязнения, тем большее количество подвижных форм находится в почвах. Превышение концентрации подвижных форм основных токсичных элементов относительно допустимых нормативов (ПДК) составляет по Pb (в зонах от сильного до максимального уровней загрязнения) в 2–40 раз; по Zn (в зонах от среднего до максимального уровней загрязнения) в 2–10 раз; по Cu (в зонах от допустимого до максимального уровней загрязнения) в 2–30 раз.

4. Интенсивность поглощения растениями химических элементов, включая токсичные, зависит от степени загрязнения территории и концентрации подвижных форм этих элементов в почвах, за исключением свинца и меди. Все растения на исследованной территории по величине Z_c (14.1–482.5) относятся к сильнозагрязненным. По степени уменьшения содержания в них токсичных элементов изученные растения формируют следующий ранжированный ряд: лист березы – лист тополя – ботва картофеля – травянистая растительность (разнотравно-бобово-злаковая ассоциация) – лист салата – лист капусты – клубень картофеля.

5. Экологическая ситуация в г. Закаменске и на близко прилегающих к нему территориях продолжает оставаться критической. Тенденция усиления загрязнения этой местности, выраженная в сохранении уровня превышения (относительно ПДК) валовых концентраций токсичных элементов, в целом сохранилась.

6. Проведенные в 2011 г. мероприятия по ликвидации последствий деятельности ДВМК, заключавшиеся в вывозе лежалых отходов обо-

гащения руд насыпного хранилища и склада аварийных сбросов, непосредственно располагавшихся на селитебной территории, не привели к ожидаемому улучшению экологической ситуации в г. Закаменске. Их результатом оказалось увеличение общего содержания тяжелых (токсичных) металлов на вновь созданной поверхности основного источника загрязнения – бывшего намывного хранилища отходов обогащения руд.

7. Позитивные изменения коснулись только территорий детских садов и школ г. Закаменска, где в результате замены верхнего загрязненного слоя почвы уменьшился показатель ее суммарного загрязнения до допустимого уровня и в два раза сократился спектр загрязняющих токсичных элементов с одновременным уменьшением их концентраций.

Исследования поддержаны РФФИ (грант № 13-05-01155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы // http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46714/index.php (дата обращения: 23.01.2015 г.).
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7. 2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве // <http://www.airsoft-bit.ru/pervichnye-pokazateli-opasnosti/333-gn-2-1-7-2511-09> (дата обращения: 23.01.2015 г.).
3. *Гольдштейн М.* Закаменск – зона бедствия // Газета “Московский комсомолец”. Интервью с первым заместителем министра МПР Бурятии А. В. Лбовым от 02.05.2012 г. <http://ulan.mk.ru/interview/2012/05/02/699192-zakamensk-zona-bedstviya.html> (дата обращения: 22.01.2015 г.).
4. ГОСТ Р 50686-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1994. 16 с.
5. *Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Уч. пособие. СПб.: Наука, 2004. 294 с.
6. *Жалсараев Б. Ж., Кутовой А. Н., Цыгуев В. Г.* Рентгеновский спектрометр. Пат. 2397481. РФ // Б.И. № 23. 2010. 9 с.
7. *Касатиков В. А.* Критерии загрязненности почвы и растений микроэлементами, тяжелыми металлами при использовании в качестве удобрения осадков городских сточных вод. Сообщение 2. Критерии

- загрязненности растений //Агрохимия. 1992. № 5. С. 110–115.
8. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия. М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 1992. 16 с.
 9. *Минеев В. Г.* Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1987. 285 с.
 10. *Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.
 11. РД 52.18.191-89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М.: ГК СССР по гидрометеорологии, 1990. 32 с.
 12. *Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
 13. СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почв химическими элементами. М.: Минздрав СССР, 1987. 10 с.
 14. СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения // <http://www.gosthelp.ru/home/download.php?view.1561> (дата обращения 29.01.2015 г.)
 15. СанПиН 2.3.2.1078-01. 2.3.2. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы // <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/UGS3.html> (дата обращения 29.01.2015 г.).
 16. *Смирнова О. К.* Экологические проблемы города, расположенного на территории законсервированного горнорудного предприятия // Экологические проблемы промышленных городов. Ч. 1. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 2011. С. 295–298.
 17. *Смирнова О. К., Дампилова Б. В.* Динамика форм нахождения свинца, цинка, меди и их биодоступность в лежалых хвостах обогащения сульфидно-вольфрамовых руд // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий: Тр. III Всерос. симпозиума. Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2010. С. 58–62.
 18. *Смирнова О. К., Плюснин А. М.* Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 180 с.
 19. *Убугунов Л. Л., Маладаева М. Р., Абашеева Н. Е., и др.* Питание растений в криоаридных условиях Бурятии: уч. пособие. Улан-Удэ: Изд-во Бурятской государственной сельхозакадемии, 2004. 242 с.
 20. *Ходанович П. Ю., Смирнова О. К., Яценко Р. И.* Загрязнение геологической среды в районе промплощадок Джидинского вольфрамо-молибденового комбината и его влияние на экосистемы // Сергеевские чтения: матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 4. М.: ГЕОС, 2002. С. 352–356.
 21. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. 505 p.

REFERENCES

1. *Gigienicheskie normativy. GN2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. 2.1.7. Pochva, ochestka naselennykh mest, otkhody proizvodstva i potrebleniya, sanitarnaya ohrana pochvy* [Hygienic norms HN2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentration (MPC) of chemical substances in the soil. 2.1.7. Soil, cleaning of populated areas, waste production and consumption, sanitary protection of soil]. Available at: http://www.ohranat-ruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46714/index.php (accessed 23.01.2015 г.) (in Russian).
2. *Gigienicheskie normativy. GN2.1.7.2511-09. Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve.* [Hygienic norms HN2.1.7.2511-09. Approximate permissible concentration (APC) of chemical substances in soil]. Available at: <http://ecoprofi.info/index.php/othod/liter/article/dokum-klop/18-pochva/632-gn-2-1-7-2511-09.html>. (accessed 23.01.2015) (in Russian).
3. *Gol'dshtein, M. Zakamensk – zona bedstviya. Interv'yu s pervym zamestitel'm ministra MPR Buryatii A. V. Lbovym ot 02.05.2012 g. Gazeta "Moskovskii komsomolets.* [Zakamensk is a disaster zone]. Available at: <http://ulan.mk.ru/interview/2012/05/02/699192-zakamensk-zona-bedstviya.html> (accessed 22.01.2015 г.) (in Russian).
4. *GOST R50686-94. Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii tsinka po metodu Krupskogo i Aleksandrovoi v modifikatsii TsINA O* [State Standard R50686–94. Soil. Determination of mobile compounds of zinc by the method of Krupskii and Aleksandrova in the modification of Central Research Institute of agrochemical service of agriculture] Moscow, Standartinform Publ., 1994, 16 p. (in Russian).
5. *Dmitriev, V.V., Frumin, G. T. Ekologicheskoe normirovanie i ustoychivost' prirodnykh system. Uchebnoe posobie* [Environmental regulation and stability of natural systems. Manual]. St.Petersburg: Nauka Publ., 2004, 294 p. (in Russian).
6. *Zhalsaraev, B. Zh., Kutovoi, A.N., Tsynguev, V. G. Rentgenovskii spektrometr* [X-ray spectrometer]. Patent RF, no. 2397481, 2010. (in Russian).
7. *Kasatkov, V. A. Kriterii zagryaznennosti pochvy i rastenii mikroelementami, tyazhelymi metallami pri ispol'zovanii v kachestve udobreniya osadkov gorodskikh stochnykh vod. Soobshchenie 2. Kriterii zagry-*

- azneniya rastenii [Criteria of soil and plant contamination with trace elements and heavy metals when using urban wastewater as a fertilizer. Message 2. Criteria of plant pollution]. *Agrokhimiya*, 1992, no. 5, pp. 110–115 (in Russian).
8. *Kriterii otsenki ekologicheskoi obstanovki territorii dlya vyyavleniya zon chrezvychainoi ekologicheskoi situatsii i ekologicheskogo bedstviya* [Evaluation criteria for environmental status in the areas for identifying ecological emergency zones]. Moscow, Ministerstvo okhrany okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov RF, 1992, 16 p. (in Russian).
 9. Mineev, V. G. *Ekologicheskie problemy agrokhimii*. [Environmental problems of agricultural chemistry]. Moscow: Moscow St. univ. publ., 1987, 285 p. (in Russian).
 10. Orlov, D.S., Sadovnikova, L.K., Lozanovskaya, I. N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskoy zagryaznenii. Uchebnoye posobie*. [Ecology and conservation of the biosphere in case of chemical contamination. Manual]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2002, 334 p. (in Russian).
 11. *RD52.18.191-89. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli kislotorastvorimyykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikelya, kadmiya) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom* [Guidance Document 52.18.191–89. The methodology for measuring the mass fraction of acid-soluble forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium) in soil samples by atomic absorption analysis]. Moscow, GK SSSR po gidrometeorologii, 1990, 32 p. (in Russian).
 12. Saet, Yu.E., Revich B. A., Yanin E. P. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra, 1990, 335 p. (in Russian).
 13. *SanPiN4266-87. Metodicheskie ukazaniya po otsenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochv khimicheskimi elementami* [Sanitary rules and norms 4266-87. Methodological instructions for the risk assessment of soil pollution by chemical elements] Moscow, Minzdrav SSSR, 1987, 10 p. (in Russian).
 14. *SanPiN2.1.7.573-96. Gigienicheskie trebovaniya k ispol'zovaniyu stochnykh vod i ikh osadkov dlya orosheniya i udobreniya* [Sanitary rules and norms 2.1.7.573-96. Hygienic requirements for use of wastewater and sewage sludge for irrigation and fertilization] Available at: <http://www.gosthelp.ru/home/download.php?view.1561> (accessed 29.01.2015 г.) (in Russian).
 15. *SanPiN2.3.2.1078-01. 2.3.2. Prodovol'stvennoe syr'e i pishchevye produkty. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti produktov* [Sanitary rules and norms 2.3.2.1078-01. 2.3.2. Raw and processed food products. Hygienic requirements for safety and nutritional products.] Available at: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/UGS3.html> (accessed 29.01.2015 г.) (in Russian).
 16. Smirnova, O.K. [Environmental problems of the city, located in the territory of former mining enterprise] *Sbornik statei "Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov"* [The collection of articles "Environmental problems of industrial cities"]. Saratov, Izd. Saratovskogo GTU, 2011, Part 1, pp. 295–298 (in Russian).
 17. Smirnova, O.K., Dampilova B. V. [Dynamic of lead, zinc, and copper forms and their biological accessibility in stale tailings after dressing of sulfide-tungsten ores]. *Trudy III Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem "Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy"* [Proc. the 3rd All-Russia Symposium with international participation "Mineralogy and geochemistry of landscape in mining territories] Chita, 2010, pp. 58–62 (in Russian).
 18. Smirnova, O.K., Plyusnin, A. M. *Dzhidinsky rudnyi raion (problemy sostoyaniya okruzhayushchey sredy)*. [Dzhidinsky ore region (problems in the environmental condition)]. Ulan-Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, 2013, 181 p. (in Russian).
 19. Ubugunov, L.L., Maladaeva, M.R., Abasheeva, N. E. *Pitanie rastenii v krioaridnykh usloviyakh Buryatii* [Plant nutrition under cryoarid conditions of Buryatia: Manual]. Ulan-Ude: Buryat state agricultural Academy Publishing House, 2004, 242 p. (in Russian).
 20. Khodanovich, P. Yu., Smirnova, O.K., Yatsenko, R.I. [Pollution of the geological environment in the area of industrial sites Dzhidinsky tungsten-molybdenum combine and its impact on ecosystems] *Materialy godichnoi sessii nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi geologii i gidrogeologii "Sergeevskie chteniya"* [Proc. of the annual session of the Scientific Council of RAS on problems in geoecology, engineering geology and hydrogeology "Sergeev Readings"]. Moscow: GEOS Publ., 2002, no. 4, pp. 352–356 (in Russian).
 21. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011, 505 p.

ASSESSMENT OF SOIL AND VEGETATION CONDITION IN ZAKAMENSK TOWN (BURYATIA): THE CONSEQUENCES OF OPERATING DZHIDA TUNGSTEN-MOLYBDENUM PLANT

S. G. Doroshkevich, O. K. Smirnova, B. V. Dampilova, V. V. Gaidashev

**Geological Institute, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, ul. Sakhiyanovoi 6a, Ulan-Ude, 670047 Russia. E-mail: sv-dorosh@mail.ru*

**Kosygin Institute of tectonics and geophysics, Far East Division, Russian Academy of Sciences, ul. Kim Yu Chena 65, Khabarovsk, 680000 Russia. E-mail: itig@itig.as.khb.ru*

The state of soil and vegetation in residential and surrounding landscapes at the Zakamensk town was assessed after the dismantling the former Dzhidinski tungsten-molybdenum combine (DTMC) in 1997 and carrying out the first stage of rehabilitation measures. It was shown that the soil contamination of urban territory, established according to the results of ecological-geochemical survey 2005, continued to increase until 2012. Stale sulfide bearing tailings are the main sources of soil contamination, and the content of mobile (acid-soluble) forms of heavy metals (Pb, Zn, Cu) migrating from tailings ponds to nearby landscapes increases with time in the surface layer. Content of mobile Zn and Cu in soils correlates positively with the total content of these metals in soils and the general level of soil contamination. Pb mobile form was registered in the areas of strong and the maximal soil contamination. Pb is poorly soluble in the less contaminated soils and it concentrates in the humus layer of soils.

The plants in the town of Zakamensk and the adjacent areas are strongly polluted ($Z_c > 10$). Accumulation of elements by plants is directly linked to the level of soil contamination and the content of mobile forms of elements in soil, except for Pb and Cu. The concentration of chemical elements of first and second classes of environmental hazard in plants form the following decreasing succession: birch leaf – poplar leaf – potato leaf – herbaceous vegetation – lettuce leaf – cabbage leaf – potato tuber.

The first stage of measures aimed at partial removal of ore tailings outside of the urban area resulted in increasing the general content of heavy metals in the surface of the main source of pollution, i.e., the former hydraulic tailings.

Keywords: *Dzhidinskii tungsten-molybdenum ore processing enterprise, ore beneficiation tailings, sulphide-containing ore, soil, vegetation, urban area, toxic elements, contamination level.*