

САНИТАРНО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СУБСТРАТОВ ОТВАЛОВ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ПОЧВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЮБИЛЕЙНОЕ»

Хасанова Р.Ф.¹, Суюндуков Я.Т.¹, Биктимерова Г.Я.¹, Суюндукова М.Б.²,
Семенова И.Н.¹, Ильбулова Г.Р.²

¹ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Уфа, e-mail: sibfan@mail.ru;

²Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Сибай, e-mail: ilbulova@mail.ru

В работе представлены результаты исследований, проведенных в окрестностях месторождения «Юбилейное», разрабатываемого ООО «Башкирская медь»: химического состава субстратов отвалов, почв, прилегающих к ним, а также произрастающих на данной территории растений. В почве выявлено превышение ПДК по валовому содержанию Fe и Cd и подвижным формам Ni, Cu, Fe, Ni, Cd. По суммарному показателю загрязнения тяжелыми металлами (Zc) изученные почвы можно отнести к допустимой категории. В сложении растительного покрова представлены синантропные виды классов растительности стадий восстановительных сукцессий после нарушений (*Stellarietea mediae* и *Artemisietea vulgaris*), а также виды устойчивые к вытаптыванию и выпасу сообществ низкорослых ксерофитных растений (*Polygono-Artemisietea austriacae*). Из классов естественной растительности представлен вид засоленных почв *Limonium gmelinii* (класс *Festuco-Puccinellietea*), а также единично виды класса *Festuco-Brometea*. Результаты химического анализа растений, произрастающих на прилегающих к отвалам почвах, показали, что содержание в корнях Zn, Fe, Mn соответствует токсичному уровню, содержание других изученных металлов ниже этой величины, однако превышает допустимые нормативы.

Ключевые слова: отвалы, рекультивация, тяжелые металлы, растения отвалов.

THE SANITARY-TOXICOLOGICAL ASSESSMENT SUBSTRATES DUMP SOIL AND ADJACENT FIELD "JUBILEE"

Khasanova R.F.¹, Suyundukov Ya.T.¹, Biktimerova G.Ya.¹, Suyundukova M.B.²,
Semenova I.N.¹, Ilbulova G.R.²

¹Institute of Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Ufa, e-mail: sibfan@mail.ru;

²Sibay Institute (branch) «Bashkir State University», Sibay, e-mail: ilbulova@mail.ru

The paper presents the results of research carried out in the "Jubilee" field surroundings, developed by LLC "Bashkir copper": chemical composition of substrates dumps, soils, adjacent to it, as well as growing plants in this area. The soil found on gross excess of MPC content of Fe and Cd and mobile forms of Ni, Cu, Fe, Ni, Cd. can be attributed to the category of permissible. In the total index of heavy metal pollution (Zc) studied soil. In addition vegetation presents synanthropic kinds of classes of vegetation succession stages of recovery after disturbance (*Stellarietea mediae* and *Artemisietea vulgaris*), as well as species resistant to trampling and grazing communities undersized xerophytic plants (*Polygono-Artemisietea austriacae*). From natural vegetation classes is a view of saline soils *Limonium gmelinii* (*Festuco-Puccinellietea* class), as well as single species Class *Festuco-Brometea*. The results of chemical analysis of plants growing in the soil adjacent to the dumps, have shown that the content of Zn in the roots, Fe, Mn corresponds to toxic levels, the content of other metals studied below this value, however, exceed the permissible norms.

Keywords: blades, reclamation, heavy metals, plant dumps.

Наличие медноколчеданных месторождений в Бурибай-Маканском, Сибайском, Баймакском и Учалинском рудных районах Зауралья Республики Башкортостан привело к развитию горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленности, объекты которой являются мощнейшими источниками загрязнения природы в процессе добычи, транспортировки и переработки руды. Промышленные эмиссии переносятся на значительные расстояния с воздушными потоками и осадками атмосферы [15]. Кроме того, в зоне деятельности комбинатов образовались огромные по площади карьеры, отвалы и

хвостохранилища, которые являются вторичными источниками техногенного загрязнения компонентов окружающей среды рядом поллютантов, среди которых особую тревогу вызывают тяжелые металлы (ТМ). По степени экологической опасности ТМ занимают второе место после пестицидов, превосходя неблагоприятные воздействия многих загрязняющих факторов, как отходы АЭС, неочищенные сточные воды, разливы нефти, хранилища радиоактивных отходов и других [1]. Попадая на поверхность почвы, техногенно рассеянные ТМ включаются в почвообразовательный процесс, поглощаются растениями и поступают в пищевые цепи, что нередко создает серьезную опасность для здоровья населения [13].

Целью настоящей работы является эколого-гигиеническая оценка субстратов отвалов и почв, прилегающих к ним, по загрязненности ТМ, также изучение процессов самозарастания отвалов на примере месторождения медноколчеданных руд «Юбилейное», разрабатываемого ООО «Башкирская медь».

Материалы и методы. Карьер месторождения расположен на территории Хайбуллинского района Республики Башкортостан, разработка его ведется с 1996 г.

В качестве объекта исследования были выбраны отвалы рыхлых пород, складированные на юго-восточной стороне карьера, и почвы, прилегающих к ним. Образцы почв отобраны в 10 точках методом конверта в августе 2015–2016 гг. Растительный материал был собран методом укоса на 10-ти пробных площадках размером 50x50см, в фазу созревания семян. В статье приводятся усредненные данные по содержанию ТМ. Определение содержания ТМ проводили атомно-абсорбционным методом в Центральной лаборатории СФ ОАО «УГОК» г. Сибай. Для оценки степени загрязнения ТМ применялись общепринятые в экологии значения ПДК (ГН 2.1.7.2041-06) либо – РГФ, а также рассчитывались суммарные показатели загрязнения (Zс) [10, 11, 12]. Изучение флоры и описание растительных сообществ проводились по общепринятым в геоботанике методикам [8, 14].

Результаты и их обсуждение

Полученные данные о содержании ТМ в субстратах отвалов и прилегающих к отвалам почвах обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание ТМ в почвах, прилегающих к отвалам, и субстратах отвалов месторождения «Юбилейное» (мг/кг)

Cu	Zn	Fe	Ni	Mn	Cd
Почвы, прилегающие к отвалам (валовая/ подвижная формы), M±m					
<u>46,4±4,6</u>	<u>72,3±4,9</u>	<u>40220,0±7136,6</u>	<u>42,4±3,4</u>	<u>1182,2±118,3</u>	<u>2,1±0,4</u>

14,9±2,5	22,5±3,9	11633,6±2416,1	9,9±1,2	95,2±22,6	0,2±0,1
Субстраты отвалов (валовая/ подвижная формы), М±m					
<u>35,9±17,3</u>	<u>20,9±13,1</u>	<u>2626,1±1121,4</u>	<u>46,0±30,2</u>	<u>38,7±8,0</u>	<u>3,1±0,1</u>
3,1±0,8	5,4±1,6	53,1±30,1	6,7±2,0	2,1±1,1	0,4±0,1
ПДК (РГФ*) (валовая/подвижная формы)					
<u>55</u>	<u>100</u>	<u>27533*</u>	<u>85</u>	<u>1500</u>	<u>2,0</u>
3	23	3800*	4	140	0,2

Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК (РГФ).

Концентрация меди в почвах исследуемой территории и субстратах отвалов составляла 46,4±4,6 и 35,9±17,3 мг/кг, соответственно (валовое содержание), также 14,9±2,5 и 3,1±0,8 мг/кг (подвижные формы). Превышение ПДК подвижной формы составило от 1,1 (отвал) до 4,9 раз (почва).

Валовое содержание цинка в исследуемых почвах составляло 72,3±4,9 мг/кг на почвах и 35,9±17,3 мг/кг на субстратах отвалов. Содержание подвижных форм – 22,5±3,9 и 5,4±1,6 мг/кг соответственно. Превышение ПДК не выявлено.

Содержание железа превышало РГФ и варьировало от 40220,0 (почва) до 2626,1 мг/кг (отвал) по валовым значениям и от 11633,6 до 53,1 мг/кг по подвижным формам. Превышение РГФ выявлено на варианте с почвой в 5,6 раз (валовое содержание) и 3,1 раз (подвижные формы).

Валовое содержание никеля было ниже ПДК, однако содержание подвижных форм превышало допустимые уровни в почвах, прилегающих к отвалам, в 2,5 раза и на отвалах – в 1,7 раза.

Валовое и подвижное содержание марганца не превышало ПДК.

Валовое содержание кадмия варьировало от 2,1 (почва) до 3,1 мг/кг (отвал) (ПДК равен 2,0 мг/кг), содержание подвижных форм также превышает ПДК.

По суммарному показателю загрязнения тяжелыми металлами (Z_c) изученные почвы можно отнести к допустимой категории, значения Z_c меньше 16,0.

Таким образом, субстраты отвалов и почвы, прилегающие к ним, характеризуются разной концентрацией в них валовых и подвижных форм ТМ. Все отобранные образцы имели повышенный уровень таких эссенциальных элементов, как Cu, Fe, Ni, Cd. Повышенное содержание ТМ в почвах, прилегающих к отвалам, обусловлено наличием гумусового горизонта, который обладает высокой поглотительной способностью.

Анализ субстратов отвалов и прилегающих к ним почв выявил наличие их загрязнения ТМ. Для предотвращения процессов вымывания и выдувания продуктов

выветривания из отвалов и снижения интенсивности загрязнения прилегающих территорий необходимо проводить специальные мероприятия по закреплению грунта. Одним из приемов, позволяющих укрепить грунт на отвалах, является создание на них растительного покрова. До настоящего времени в процессах формирования растительности на отвалах горнорудных предприятий ведущее положение занимало и продолжает занимать их естественное зарастание. Однако этот процесс является весьма медленным, поэтому естественное зарастание не обеспечивает в полной мере защиту окружающей среды от загрязнения. В связи с этим необходимо создать условия, способствующие данному процессу. Очень важным является изучение особенностей самозарастания, в том числе факторов, стимулирующих или, наоборот, угнетающих этот процесс. Одним из таких факторов, влияющих на восстановление растительного покрова на нарушенных землях, являются удаленность нарушенных участков от источников образования семян и биологические особенности растений. Растительность неодинаково приспособлена к повышенному содержанию ТМ, различается по чувствительности к ним и по-разному накапливает их [3]. Избыток ТМ в среде ведет к аккумуляции их растениями и, часто, к их повреждению, нарушениям видового состава сообществ в результате выпадения чувствительных видов, а также к нарушению процессов развития и снижению продуктивности [4].

На территории, прилегающей к отвалам, расположено залежное поле, используемое в качестве пастбища. В растительности этой территории доминирует сообщество *Artemisia austriaca-Ceratocarpus arenarius*. Видовой состав этого сообщества представлен 25 видами, имеет проективное покрытие, равное 90 %, среднюю высоту травостоя 50 см. Большую роль в его сложении играют синантропные виды пастбищ *Polygono-Artemisietea austriacae*, а также классы *Stellarietea mediae* и *Artemisietea vulgaris*. Из классов естественной растительности представлены вид засоленных почв *Limonium gmelinii* (класс *Festuco-Puccinellietea*) и единично – виды класса *Festuco-Brometea*.

Изучение пионерной растительности на рыхлых отвалах месторождения «Юбилейное» выявило, что разнообразие видов в описываемых сообществах варьирует от 9 до 15, общее проективное покрытие растений на описываемой площади занимает от 15 до 60 %, показатели средней высоты травостоя колеблются от 25 до 45 см.

В ходе флористических исследований были выявлены сообщества с доминированием *Ceratocarpus arenarius*. Видовое разнообразие растительного покрова составляло 12 видов, общее проективное покрытие (ОПП) – 25–40 %, средняя высота травостоя – 28 см. Большое участие в сложении указанного сообщества принимают виды классов *Stellarietea mediae*, представляющих начальные стадии восстановительных сукцессий после нарушений и виды

низкорослых ксерофитных растений класса *Polygono-Artemisietea austriacae*, устойчивые к вытаптыванию и выпасу сообщества, а также вид засоленных почв *Limonium gmelinii* класса *Festuco-Puccinellietea*.

Также встречались участки с обедненным видовым составом (7 видов), ОПП 15 %, средней высотой травостоя 30 см, на которых было представлено сообщество *Bassia sedoides*. Участие в его сложении принимают синантропные виды классы *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris* и *Polygono-Artemisietea austriacae*, а также вид засоленных почв *Limonium gmelinii* класса *Festuco-Puccinellietea*.

Также были выявлены сообщества с доминированием *Calamagrostis epigeios*, сформированные на участках со стоячей водой, пересыхающих летом, куда внедряются синантропные виды пастбищ *Polygono-Artemisietea austriacae* и сорные виды классов *Stellarietea mediae* и *Artemisietea vulgaris*. Видовое разнообразие составляло 9 видов, средняя высота травостоя – 45 см, проективное покрытие – 60 %.

Описано сообщество *Polygonum aviculare* с видовым составом 15 видов, ОПП 40 % и средней высотой травостоя 40 см. Участие в его сложении принимают синантропные классы *Stellarietea mediae*, *Artemisietea vulgaris* и *Polygono-Artemisietea austriacae*. Также был выявлен вид *Limonium gmelinii* (класс *Festuco-Puccinellietea*) и в единичном количестве – виды степных сообществ класса *Festuco-Brometea*.

Для растений, поселяющихся на отвалах, характерен ряд особенностей, обусловленных эдафическими условиями и влиянием микроклиматических факторов: мощная, хорошо разветвленная корневая система, усиление ксероморфных черт, связанное с недостатком влаги, сильное развитие механических тканей, формирующихся под воздействием ветра и засыпания песчинками, снижение интенсивности роста растений в высоту. Некоторые виды растений представлены стелющимися, приземистыми, ветвистыми формами.

Химический состав растений отражает элементный состав среды их роста и развития. Анализ растений, произрастающих на изучаемых территориях, на содержание ТМ в надземной и подземных частях выявил многократное превышение ПДК в варианте почвы, прилегающей к отвалам (табл. 2).

Таблица 2

Содержание ТМ в растениях месторождения «Юбилейное» (мг/кг почвы)

Варианты	Cu	Zn	Fe	Ni	Mn	Cd
	Территория, прилегающая к отвалу					
Надзем. часть	18,2±4,5	56,6±17,5	1226,2±596	2,6±0,5	171,7±74,5	1,5±0,57
корни	22,5±8,8	230,1±147,8	17875,9±15898,8	2,4±0,2	562,3±350,7	1,4±1,1

	Отвалы					
<u>Надзем. часть</u>	<u>18,1±7,06</u>	<u>51,7±17,0</u>	<u>478,4±210,8</u>	<u>9,6±7,4</u>	<u>60,0±16,7</u>	<u>0,6±0,3</u>
корни	15,6±10,4	12,3±2,0	887,6±738,6	5,0±2,2	37,2±19,2	0,4±0,1
<u>РГФ</u>	<u>13</u>	<u>42</u>	<u>52</u>	<u>2,5</u>	<u>40</u>	=
Кларк по Добровольскому	8	30	-	2	205	0,2

Жирным шрифтом выделены значения, превышающие РГФ (кларк).

Концентрация меди в надземных частях и в корнях растений на почвах, прилегающих к отвалам, составляла 18,2 мг/кг (надземная часть) и 22,5 мг/кг (корни), на субстратах отвала - 18,1 и 15,6 мг/кг, соответственно (РГФ равен 13 мг/кг). По мнению Ю.В. Алексева, нормальное содержание меди для растений составляет от 6 до 15 мг/кг сухой массы. Концентрация выше 20 мг/кг считается токсичной [2].

Содержание цинка в надземной части растений превышало РГФ в 1,1-1,2 раза, в то же время в корнях растений, произрастающих на почвах, прилегающих к отвалам, значения этого показателя были выше РГФ в 5 раз.

Для травянистых растений считается нормой содержание железа от 50,0 до 240,0 мг/кг сухого вещества [7]. Критической является концентрация, равная 750 мг/кг сухого вещества [5]. В наших исследованиях на всех изучаемых участках содержание железа в надземных частях и корнях растений было выше критической концентрации.

Содержание никеля в растениях также превышало РГФ и кларк, особенно это было выражено в варианте с субстратами отвалов.

Нормальным содержанием марганца для трав считается интервал от 20 до 300,0 мг/кг сухого вещества, критической считается концентрация 300,0 мг/кг, фитотоксичной – более 500,0 мг/кг [6]. В наших исследованиях содержание этого химического элемента превышало критические концентрации в корнях растений, произрастающих на прилегающих к отвалам почвах.

Кадмий способен легко поступать в растения из почвы через корневую систему, а также из атмосферы. Нормальное содержание ТМ в траве варьирует от 0,05 до 0,2 мг/кг сухой массы. Фитотоксичная концентрация Cd в растениях составляет выше 3,0 мг/кг [5]. Содержание кадмия в изученных растениях было выше нормы, но ниже токсической концентрации.

Заключение. Результаты исследований, проведенных в окрестностях месторождения «Юбилейное», разрабатываемого ООО «Башкирская медь», показали, что в почве выявлено превышение ПДК по валовому содержанию Fe и Cd и подвижным формам Ni, Cu, Fe, Ni, Cd.

По суммарному показателю загрязнения тяжелыми металлами (Z_c) изученные почвы можно отнести к допустимой категории. В сложении растительного покрова представлены синантропные виды классов растительности стадий восстановительных сукцессий после нарушений (*Stellarietea mediae* и *Artemisietea vulgaris*), а также виды, устойчивые к вытаптыванию и выпасу, сообществ низкорослых ксерофитных растений (*Polygono-Artemisietea austriacae*). Из классов естественной растительности представлен вид засоленных почв *Limonium gmelinii* (класс *Festuco-Puccinellietea*), а также единично виды класса *Festuco-Brometea*. Результаты химического анализа растений, произрастающих на прилегающих к отвалам почвах, показали, что содержание в корнях Zn, Fe, Mn соответствует токсичному уровню, содержание других изученных металлов ниже этой величины, однако превышает допустимые нормативы.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные результаты могут служить основой для разработки рекомендаций по озеленению и очищению промышленных площадок горнообогатительных комбинатов, созданию защитных полос, рекультивации отвалов горнорудных разработок, оптимальному использованию сельхозугодий, расположенных в санитарно-защитной зоне.

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ и Правительством Республики Башкортостан научного проекта №15-16-02003.

Список литературы

1. Агроэкология / Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. и др.; под ред. В.А. Черникова, А.И. Черкеса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л., 1987. – 365 с.
3. Алексеева-Попова Н.В. Клеточно-молекулярные механизмы металлоустойчивости растений // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. – Л., 1991 (а). – С. 5-15.
4. Дмитраков Л.М., Мудрик В.А., Князева И.В., Злобина А.И., Переломов Л.В., Лапшина Л.А., Пинский Д.Л., Пигулевская Т.К. Физико-химические аспекты поведения свинца и цинка в системе почва-растение и их влияние на физиологические и биохимические функции растений // Тезисы докладов III съезда Докучаевского общ-ва почвоведов. – М.: Почв. ин-т им. В.В.Докучаева РАСХН, 2000. – Кн.1. – С. 245.
5. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
6. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

7. Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. – Самара: Самарский университет, 1997. – 100 с.
8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. – Уфа: Гилем, 1998. – 413 с.
9. Опекунов А.Ю. Аквальный техноседиментогенез // Тр. ВНИИ Океангеологии Министерства природных ресурсов РФ. – СПб.: Наука, 2005. – Т. 208. – 278 с.
10. Опекунова А.Ю., Опекунов М.Г. Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения // Записки Горного института. – Т.203. – Санкт-Петербург, 2013. – С. 196-204.
11. Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т., Ильбулова Г.Р. Биологическая активность почв как индикатор их экологического состояния в условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами (на примере Зауралья Республики Башкортостан). – Уфа: Гилем, 2012. – 195 с.
12. Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т., Севрякова О.А. Экологическая оценка почв в зоне размещения отвалов карьеров медно-колчеданных месторождений (на примере г. Сибай). – Уфа: Гилем, 2013. – 125 с.
13. Хазиев Ф.Х., Багаутдинов Ф.Я., Сахабутдинова А.З. Экоотоксиканты в почвах Башкортостана. – Уфа: Гилем, 2000. – 62 с.
14. Ямалов С.М., Мартыненко В.Б., Голуб В.Б., Баишева Э.З. Прогноз растительных сообществ Республики Башкортостан: препринт. – Уфа: Гилем, 2004. – 64 с.
15. Steinnes E. Atmospheric deposition of heavy metals in Norway studied by the analysis and absorption spectroscopy // J. Radio-anal. Chem. 58, 1980. P. 387-391.