

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 631.453

### ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНО-ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД ДЖИДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2016 г. С. Г. Дорошкевич, И. В. Бардамова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Геологический институт Сибирского Отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН),  
ул. Сахьяновой, 6а, г. Улан-Удэ, 670047 Россия. E-mail: sv-dorosh@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.04.2015 г.  
После исправления 9.05.2015 г.

Изучена фитотоксичность отходов (техногенных песков) горно-обогатительного производства Джидинского вольфрамowo-молибденового комбината. Установлено, что техногенные пески по содержанию токсичных элементов относятся к чрезвычайно опасным с коэффициентом суммарного загрязнения (Zс) 425–500. Их фитотоксичность в отношении тест-культур различна: техногенные отходы хвостохранилища руч. Барун-Нарын относятся к II (высокому) классу токсичности со средним повреждающим действием на овес, сильным – на горох и редис; техногенные отходы дельтовой залежи р. Модонкуль – к IV (низкому) классу токсичности с отсутствием повреждающего действия на растения гороха и овса, слабым – на растения редиса.

**Ключевые слова:** *фитотоксичность, отходы горно-обогатительного производства, Джидинский вольфрамowo-молибденовый комбинат.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающее производство очень часто играет значительную негативную роль в формировании техногенных ландшафтов, а также в создании сложной экологической обстановки на прилегающих территориях. Джидинский вольфрамowo-молибденовый комбинат (ДВМК), перерабатывавший молибденитовые и сульфидно-гюбнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля (Первомайское, Холтосонское и Инкур), более 60 лет являлся одним из ведущих предприятий горнодобывающей промышленности нашей страны. В 1997 г. горно-добычное производство было законсервировано без проведения каких-либо работ по рекультивации нарушенных земель. В настоящее время на территории, непосредственно прилегающей к г. Закаменск, расположены массивы техногенных песков – отходов обогатительного производства; общий объем отходов составляет около 50 млн т. Данные техногенные образования – основной источник загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и другими токсичными элементами [21, 15], причем

биодоступность токсичных элементов в лежалых хвостах обогащения со временем увеличивается [13]. Территория г. Закаменск по значениям суммарного показателя загрязнения почв токсичными элементами классифицируется как зона экологического бедствия – 25.5%, кризисная – 26%, напряженная – 30% и удовлетворительная – 18.5% от общей его площади [14].

На современном уровне наряду с определением загрязнения территории токсичными элементами оценивают также качество окружающей среды и по “биотическим параметрам” с использованием методов биотестирования и биоиндикации [1, 4, 8, 12, 16, 22, 23, 25–27]. Такой подход позволяет получить более полные сведения о воздействии загрязнения на биологические объекты, а также их ответную реакцию. Сочетание абиотического и биотического подходов наиболее информативно в решении подобных задач [19].

Фитотоксичное действие техногенных отходов переработки руд Джидинского вольфрамowo-молибденового комбината отмечено ранее в публикациях ряда авторов [5, 17, 18]. В лабораторных опытах ими было установлено токсичное воздей-

ствие техногенных песков на тест-культуры (горчицы, салата, овса, петрушки) и изучено фитотоксичное воздействие соединений свинца как наиболее характерного загрязнителя, на дерново-подбуре – при выращивании пшеницы в модельных лабораторных опытах. Данных исследований явно недостаточно, так как в этих опытах была изучена фитотоксичность техногенных песков с целью моделирования различных уровней загрязнения – незагрязненную почву смешивали с техногенным песком в различных соотношениях, а также было показано фитотоксичное влияние свинца, внесенного в почву в виде водного раствора уксуснокислой соли  $Pb(CH_3COO)_2 \times 3H_2O$  в дозах 50, 100, 200, 400, 800, 1600 и 3200 мг/кг почвы.

Цель данной работы – оценить фитотоксичность лежалых отходов переработки руд Джидинского вольфрамово-молибденового комбината. При проведении исследований решались следующие задачи:

1. Определение степени загрязнения отходов переработки руд токсичными элементами.
2. Оценка токсичности техногенных песков и их водных вытяжек методами биотестирования.
3. Оценка уровня экологической опасности изученных техногенных объектов на окружающую среду.
4. Выявление концентрации токсичных элементов в проростках тест-культур при их проращивании на техногенных песках.

### МЕТОДИКА

В качестве объектов изучения выбраны: 1 – хвостохранилище техногенных отходов переработки сульфидно-вольфрамовых руд, расположенное в бассейне руч. Барун-Нарын; 2 – дельтовая залежь техногенных песков р. Модонкуль, сфор-

мированная при аварийных прорывах дамбы хвостохранилища (рис. 1).

Определение валовых содержаний химических элементов в природном и техногенных песках проводилось по методике “выполнения измерений массовых концентраций валовых форм элементов” на энергодисперсионном поляризованном рентгеновском спектрометре ЭДПРС-1 [6], в навеске истертой до состояния пудры.

Исследуемые техногенные пески содержат значительное количество токсичных элементов I–III класса опасности; их химический состав представлен в табл. 1.

Оценка уровня химического загрязнения техногенных песков элементами I–III класса экологической опасности проведена в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03 [11], с использованием общепринятых геохимических показателей – коэффициента концентрации ( $K_c$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ), определяемых по формулам 1 и 2 [10]:

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

где  $C$  – концентрация элемента в техногенных песках;  $C_f$  – фоновая концентрация элемента. В качестве фоновых значений приняты средние содержания химических элементов в рыхлом покрове участка Дабан, расположенного вне сферы влияния отходов ДВМК [14],

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

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

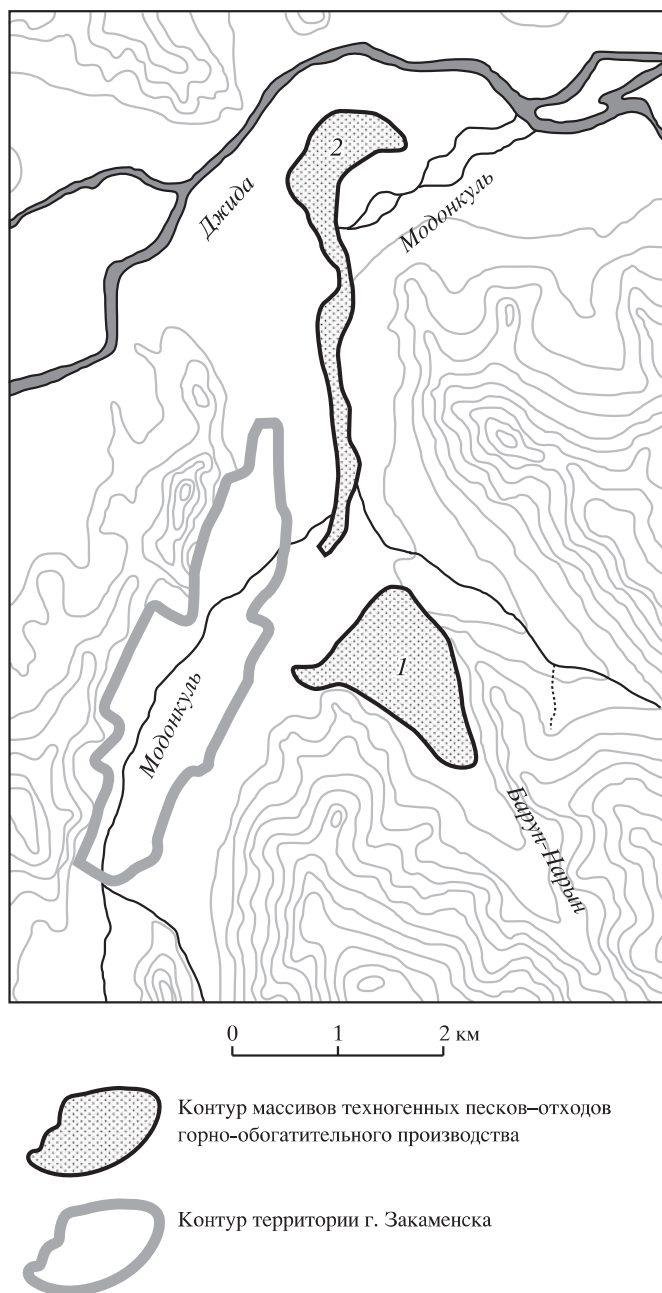
Фитотоксичность техногенных песков определена с использованием метода “проростков” [3]. Проращивание проводилось по двум опытам: 1 – непосредственно на техногенных песках, 2 – на водных вытяжках из техногенных песков.

*Условия проведения опыта 1.* Пробы техногенных песков (массой 100 г) помещали в контей-

**Таблица 1.** Содержание токсичных элементов I–III класса экологической опасности в природном и техногенных песках, мг/кг

Проба	Zn	Pb	As	Cu	Co	Cr	Mo	Ni	W
Песок побережья оз. Байкал (контроль)	25	12	5.6	5	9	19	1.9	8.8	67
Техногенные пески в дельте р. Модонкуль	58	230	10	38	41	9.1	170	4.2	440
Техногенные пески в хвостохранилище руч. Барун-Нарын	275	320	20	66	40	290	5.6	70	800
ОДК [2]	55	32	2	33	–	–	–	20	–
Среднее содержание в почвах мира [24]	70	27	6.8	39	8	60	1.1	29	1.7

Примечание. Прочерк – нет данных.



**Рис. 1.** Схема размещения объектов исследования. Техногенные пески: 1 – хвостохранилища отходов переработки сульфидно-вольфрамовых руд руд. Барун-Нарын; 2 – дельтовой залежи р. Модонкуль.

неры, увлажняли их дистиллированной водой до 60% от полной влагоемкости. Контроль влажности проводился весовым методом ежедневно. В качестве “контрольного” образца был использован песок побережья оз. Байкал; его химический состав представлен в табл. 1.

*Условия проведения опыта 2.* Пробу в 50 г техногенных песков заливали 100 мл дистиллированной воды, выдерживали 7 сут при температуре 22°C и периодическом помешивании, вытяжку

отфильтровывали через фильтр белая лента. Проращивание семян проводилось при температуре 22°C в закрытых чашках Петри: на дно чашек помещали фильтровальную бумагу, добавляли водную вытяжку из техногенных песков до ее полного увлажнения. В качестве контроля использовались фильтры, пропитанные дистиллированной водой.

Повторность по опытам – 6-кратная с продолжительностью проращивания 7 сут. Исползованные в опытах тест-культуры: редис сорта Жара, горох сорта Сахарный и овес сорта Гэрэл. По окончании опыта подсчитывались количество проросших растений и длина проростков.

Энергию прорастания определяли по формуле

$$B = a : b \times 100\%, \quad (3)$$

где a – количество проросших семян, b – общее количество семян, взятых для опыта.

В качестве параметра для определения фитотоксичного эффекта (ФЭ) использована длина проростков, рассчитанная по формуле:

$$\Phi \text{Э} = \frac{D_{\text{к}} - D_{\text{пр}}}{D_{\text{к}}} \times 100 \%, \quad (4)$$

где  $D_{\text{к}}$  – средняя длина проростка в контрольной пробе,  $D_{\text{пр}}$  – средняя длина проростка в опытной пробе.

Класс токсичности исследуемых техногенных песков определен с использованием индекса токсичности (ИТФ):

$$\text{ИТФ} = \frac{T\Phi_o}{T\Phi_{\text{к}}}, \quad (5)$$

где  $T\Phi_o$  – значение регистрируемой тест-функции в опыте,  $T\Phi_{\text{к}}$  – значение регистрируемой тест-функции в контроле.

За индекс токсичности принято среднее значение индекса токсичности, рассчитанного по всхожести семян и длине проростка. Величина ИТФ изменяется от 0 до n, где n – любая положительная величина [20]. Шкала оценки токсичности по величине ИТФ: VI класс (стимуляция) ИТФ > 1.10; V класс (норма) ИТФ 0.91–1.10; IV класс (низкая токсичность) ИТФ 0.71–0.90; III класс (средняя токсичность) ИТФ 0.50–0.70; II класс (высокая токсичность) ИТФ < 0.50; I класс (сверхвысокая токсичность) – полная гибель тест-объекта.

Повреждающее действие техногенных песков и их водных вытяжек на тест-культуры сопоставлялось по приведенной выше оценочной шкале с использованием фактических параметров всхожести семян и внешнего вида проростков [9].

Определение содержания химических элементов в растениях (тест-культурах) проводили в Хабаровском инновационно-аналитическом центре методом кислотного “разложения” на ICP-MS Elan 9000 Perkin Elmer. Оценка уровня загрязнения растений токсичными элементами I–III класса опасности осуществлена с использованием геохимических показателей Кс и Zс.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По содержанию токсичных элементов техногенные пески дельтовой залежи р. Модонкуль и хвостохранилища руч. Барун-Нарын, в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03, отнесены к чрезвычайно опасным (табл. 2).

В результате проведенных опытов по проращиванию семян тест-культур непосредственно на техногенных песках или их водных вытяжках установлено, что на техногенных песках дельтовой залежи длины проростков практически всех испытуемых тест-культур несколько уменьшались. При этом проростки гороха и овса в вариантах с водной вытяжкой техногенных песков имели более интенсивный зеленый цвет, чем проростки контрольных вариантов. Техногенный песок хвостохранилища отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд и водная вытяжка из него сильно угнетали проростки растений редиса и овса. Семена гороха хоть и прорастали, но полностью погибали через 4–6 сут после всходов. Подобный эффект отмечался и предыдущими исследователями [5]: растения петрушки и салата не всходили, растения горчицы полностью погибали на 4–5 сут после всходов, а растения овса были сильно угнетены.

Всхожесть семян изучаемых тест-культур на техногенных песках (опыт 1) в дельте р. Модонкуль для овса соответствовала контрольному варианту или находилась в пределах ошибки опыта, для редиса оказалась в 1.01 раза ниже контрольного варианта, а для гороха – в 1.04 раза

выше, т.е. наблюдался незначительный стимулирующий эффект (рис. 2а). При проращивании на техногенном песке хвостохранилища отходов переработки сульфидно-вольфрамовых руд (руч. Барун-Нарын) отмечено неоднозначное реагирование тест-культур: наименьший токсический эффект наблюдался у растений овса, выраженный в уменьшении всхожести семян в 2.18 раз относительно контрольного варианта; в большей степени негативное влияние оказывалось на растения редиса – отмечалось уменьшение всхожести его семян уже в 13.5 раз относительно контроля; максимальное же токсическое действие установлено для растений гороха – они погибли.

Всхожесть семян испытуемых тест-культур на водной вытяжке (опыт 2) из техногенных песков дельтовой залежи р. Модонкуль соответствовала контрольному варианту и находилась в пределах математической ошибки (рис. 2б). Всхожесть семян на водной вытяжке из техногенных песков хвостохранилища руч. Барун-Нарын уменьшалась у редиса и овса – в 1.26 и 1.13 раз относительно контрольного варианта соответственно; неудовлетворительная всхожесть оказалась у растений гороха – в 18.7 раз ниже контрольного варианта.

Техногенные пески в дельте р. Модонкуль и хвостохранилище руч. Барун-Нарын оказывали заметное угнетающее действие на длину проростков тест-культур, причем даже большее, чем их водные вытяжки (рис. 3): длина проростков испытуемых растений при их выращивании на техногенном песке дельтовой залежи р. Модонкуль была ниже в 1.33–1.37 раз, а при их выращивании на водной вытяжке – ниже всего лишь в 1.12–1.17 раз относительно контрольного варианта. Следует отметить, что техногенный песок хвостохранилища руч. Барун-Нарын в целом оказывал большее токсическое воздействие на испытуемые растения, чем отложения дельты

**Таблица 2.** Категория загрязнения техногенных песков по содержанию токсичных элементов I–III класса экологической опасности

Объект	Токсичные элементы, определяющие категорию загрязнения (класс опасности)	Zс	Категория загрязнения [11]
Техногенный песок дельтовой залежи р. Модонкуль	Pb и As (I), Cu, Co и Mo (II), W (III)	425	Чрезвычайно опасная
Техногенный песок хвостохранилища руч. Барун-Нарын	Pb, Zn и As (I), Cu, Co, Mo и Ni (II), W (III)	500	Чрезвычайно опасная



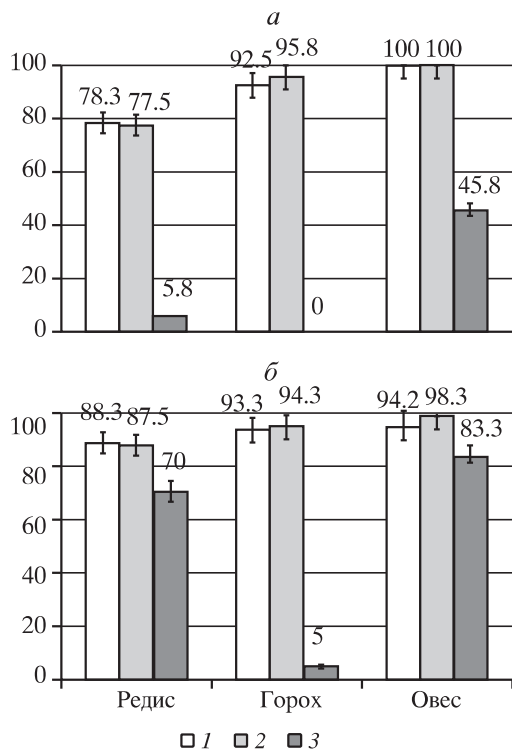


Рис. 2. Влияние техногенных песков (а) и их водных вытяжек (б) на всхожесть семян тест-культур, %: 1 – контроль, техногенный песок: 2 – дельтовой залежи р. Модонкуль, 3 – хвостохранилища руч. Барун-Нарын.

р. Модонкуль: это и уменьшение длины проростков редиса и овса как на собственно техногенном песке, так и на его водной вытяжке – соответственно в 5.00–7.09 и 2.17–2.16 раз относительно контрольного варианта; это и гибель проростков растений гороха как на собственно техногенном песке, так и на его водной вытяжке. Техногенные пески также неоднозначно влияли на соотношение высоты надземной к длине подземной частей проростков. Эти соотношения у редиса, гороха и овса, пророщенных на песках дельтовой залежи р. Модонкуль, оказались меньше соответственно в 1.12, 1.26 и 2.25 раз относительно контрольного варианта, тогда как у культур, пророщенных на водной вытяжке из этих песков дельтовой залежи, наоборот, они увеличились в 1.13–1.23 раза относительно контроля. Соотношение надземная высота/подземная длина у проростков редиса на техногенных песках хвостохранилища руч. Барун-Нарын в сравнении с контрольным вариантом возросло в 1.42 раза, а при проращивании на водной вытяжке из них это соотношение у редиса и овса уменьшилось соответственно до 1:0.56 и 1:0.6 в сравнении с 1:1.5 и 1:0.8 в контрольном варианте.

Фитотоксичный эффект был максимальным (85.2–100%) при проращивании редиса, гороха и овса на техногенном песке хвостохранилища руч. Барун-Нарын и гороха на его водной вытяжке (табл. 3). На отложениях дельтовой залежи р. Модонкуль этот эффект был соответственно в 3.41–3.75 и 1.49–3.75 раз ниже, чем на песках и водных вытяжках из хвостохранилища руч. Барун-Нарын. Фитотоксичный эффект водной вытяжки из отложений дельтовой залежи р. Модонкуль оказался низким для овса и гороха (4.05 и 11.0%) или отсутствовал полностью для растений редиса.

Таким образом, тест-культуры по значениям фитотоксичного эффекта (в порядке увеличения) располагаются следующим образом: овес – редис – горох. В сопоставлении с принятой шкалой градации токсичности [20] техногенные пески дельтовой залежи р. Модонкуль относятся к IV (низкому) классу токсичности, водная вытяжка из них – к V классу токсичности, соответ-

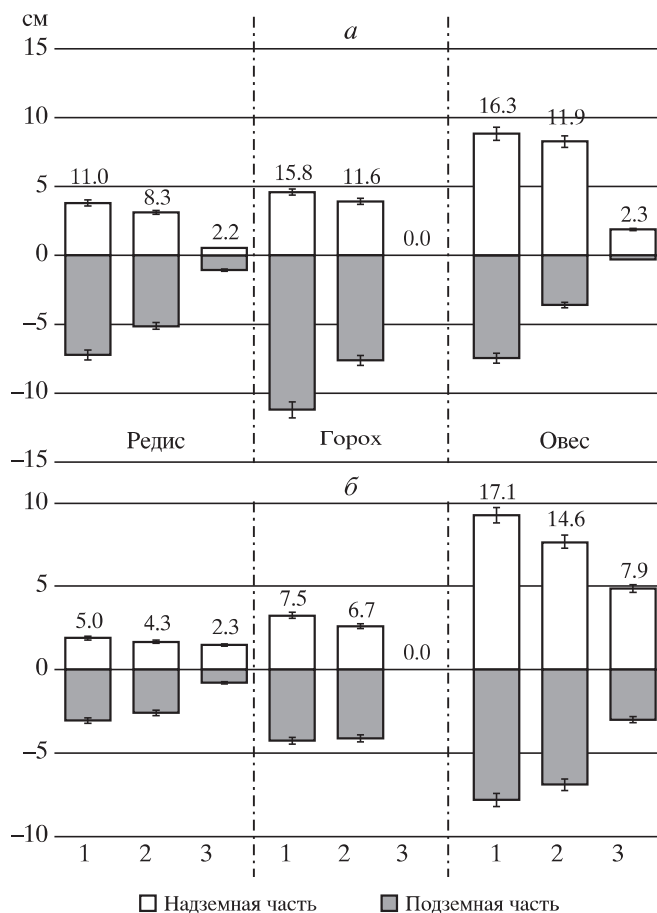


Рис. 3. Влияние техногенных песков (а) и их водных вытяжек (б) на общую длину (обозначена цифрами) и соотношение длины надземной и подземной частей проростков тест-культур. Условные обозначения см. рис. 2.

**Таблица 3.** Энергия прорастания, фитотоксичный эффект и индекс токсичности техногенных песков и их водных вытяжек

Тест-функция	Тест-культура	Метод проращивания					
		техногенный песок			водная вытяжка		
		контроль	дельтовая залежь р. Модонкуль	хвостохранилище руч. Барун-Нарын	контроль	дельтовая залежь р. Модонкуль	хвостохранилище руч. Барун-Нарын
Энергия прорастания (В), %	редис	78.3	77.5	5.8	88.3	87.5	70
	горох	92.5	95.8	0	93.3	94.3	5.0
	овес	100	100	45.8	94.2	98.3	83.3
Фитотоксичный эффект (ФЭ), %	редис	–	25.0	85.2	–	–17.0	37.2
	горох	–	26.7	100	–	11.0	100
	овес	–	27.4	96.1	–	4.05	49.7
Индекс токсичности (ИТФ)	редис	–	0.83	0.07	–	0.96	0.63
	горох	–	0.89	0	–	0.87	0
	овес	–	0.87	0.30	–	1.00	0.67

**Таблица 4.** Повреждающее действие техногенных песков и их водных вытяжек на тест-культуры [9]

Объект	Тест-культура	Опыт 1 (техногенный песок)	Опыт 2 (водная вытяжка)
Техногенный песок дельтовой залежи р. Модонкуль	редис	+	+
	горох	–	–
	овес	–	–
Техногенный песок хвостохранилища руч. Барун-Нарын	редис	+++	++
	горох	+++	+++
	овес	++	++

Примечание. Повреждающее действие: “+++” – сильное, “++” – среднее, “+” – слабое, “–” – отсутствует.

ствующего норме; а отложения в хвостохранилище руч. Барун-Нарын и их водная вытяжка – ко II (высокому) классу токсичности с индексом ИТФ 0.12-0.44.

На основании методических указаний [9] проведена оценка повреждающего действия техногенных песков и их водных вытяжек на изучаемые тест-культуры (табл. 4).

В связи с тем, что в опыте использовались отходы горно-обогатительного производства с высокой степенью загрязнения токсичными элементами, то и изучаемые тест-культуры (надземная и подземная части) были проанализированы на наличие в них этих же токсичных элементов (табл. 5). Сравнительный анализ содержания токсичных элементов показал, что максимальное их накопление происходит в растениях редиса. В целом при проращивании исследуемых тест-культур на техногенных песках дельтовой залежи р. Модонкуль в растениях содержание ряда токсичных элементов превышает их усредненные значения по миру.

Показатель суммарного загрязнения токсичными элементами у надземной массы растений находится в пределах от 27.6 до 86.7, у подземной части – от 53.1 до 177.8, что соответствует их сильному загрязнению [7]. При проращивании тест-культур на техногенных песках хвостохранилища руч. Барун-Нарын у редиса происходит накопление (относительно усредненных значений по миру) таких элементов, как Zn, Pb, As, Cu, Co, Cr, Ni и W ( $Z_c = 132.7$ ), а у овса – Zn, Cr, Ni и W ( $Z_c = 84.7$ ).

При проращивании исследуемых тест-культур на водной вытяжке из техногенных песков дельтовой залежи р. Модонкуль также было установлено превышение содержания ряда токсичных элементов (относительно средних значений по миру): в растениях редиса – Zn, Cr и Ni, в растениях гороха – Zn, Cr, Mo и Ni, в растениях овса – Cr, Ni и W; показатель суммарного за-

**Таблица 5.** Содержание токсичных элементов I–III класса экологической опасности в надземной (числитель) и подземной (знаменатель) частях тест-культур при проращивании на техногенных песках (1) и на водных вытяжках из них (2), мг/кг воздушно-сухой массы

Тест-культура	Вариант	Zn	Pb	As	Cu	Co	Cr	Mo	Ni	W	Zc
Редис	1	<b>67.44</b>	<u>1.31</u>	<b>3.59</b>	<u>7.76</u>	<u>0.24</u>	<b>1.80</b>	<b>3.40</b>	<b>3.93</b>	<u>0.10</u>	
	2	<u>51.04</u>	<u>7.53</u>	<u>10.27</u>	<u>9.76</u>	<u>1.03</u>	<u>11.55</u>	<u>4.04</u>	<u>5.55</u>	<u>0.45</u>	
Дельтовая залежь р. Модонкуль	1	<b>124.62</b>	<b>10.53</b>	<b>2.36</b>	<u>49.18</u>	<u>0.67</u>	<u>7.36</u>	<u>1.19</u>	<u>10.45</u>	<u>2.83</u>	<u>86.7</u>
	2	<u>301.58</u>	<u>153.36</u>	<u>12.22</u>	<u>13.33</u>	<u>0.28</u>	<b>3.51</b>	<b>7.56</b>	<b>4.79</b>	<b>7.60</b>	<u>177.8</u>
Хвостохранилище руч. Барун-Нарын	1	<b>394.49</b>	<b>15.88</b>	<b>15.02</b>	<b>54.63</b>	<b>10.30</b>	<b>5.13</b>	<b>1.91</b>	<b>11.52</b>	<b>6.18</b>	<u>132.7</u>
	2	<u>128.15</u>	<u>1.86</u>	<u>0.38</u>	<u>17.23</u>	<u>2.15</u>	<b>2.59</b>	<b>1.01</b>	<b>6.38</b>	<b>0.08</b>	<u>22.2</u>
Горох	1	<b>59.21</b>	<u>0.40</u>	<u>0.11</u>	<u>7.50</u>	<u>0.07</u>	<b>0.84</b>	<b>2.04</b>	<b>5.63</b>	<u>0.06</u>	
	2	<u>46.33</u>	<u>0.92</u>	<u>0.21</u>	<u>7.55</u>	<u>0.25</u>	<u>1.07</u>	<u>2.46</u>	<u>5.52</u>	<u>0.21</u>	
Дельтовая залежь р. Модонкуль	1	<b>63.32</b>	<u>0.56</u>	<u>0.83</u>	<u>16.65</u>	<u>0.10</u>	<u>1.08</u>	<u>1.86</u>	<u>5.91</u>	<u>0.38</u>	<u>27.6</u>
	2	<u>130.72</u>	<u>4.81</u>	<u>0.69</u>	<u>12.06</u>	<u>0.08</u>	<b>0.95</b>	<b>4.02</b>	<b>6.05</b>	<b>0.56</b>	<u>53.1</u>
Овес	1	<b>59.99</b>	<u>0.86</u>	<u>0.84</u>	<u>15.39</u>	<u>0.11</u>	<u>0.63</u>	<u>2.69</u>	<u>8.34</u>	<u>0.64</u>	<u>13.9</u>
	2	<u>35.16</u>	<u>0.12</u>	<u>0.89</u>	<u>6.61</u>	<u>0.05</u>	<b>1.17</b>	<b>0.58</b>	<b>2.68</b>	<u>0.04</u>	<u>3.3</u>
Дельтовая залежь р. Модонкуль	1	<b>49.69</b>	<u>3.06</u>	<u>0.79</u>	<u>15.75</u>	<u>0.08</u>	<u>1.18</u>	<u>0.97</u>	<u>2.35</u>	<u>0.31</u>	<u>66.4</u>
	2	<u>200.8</u>	<u>31.13</u>	<u>0.69</u>	<u>8.32</u>	<u>0.08</u>	<b>1.46</b>	<b>1.36</b>	<b>2.97</b>	<b>2.29</b>	<u>146.7</u>
Хвостохранилище руч. Барун-Нарын	1	<b>97.69</b>	<u>5.03</u>	<u>1.33</u>	<u>15.39</u>	<u>1.66</u>	<b>1.93</b>	<b>0.77</b>	<b>6.81</b>	<b>0.22</b>	<u>11.7</u>
	2	<u>153.35</u>	<u>4.53</u>	<u>0.48</u>	<u>31.71</u>	<u>4.25</u>	<b>2.5</b>	<b>0.50</b>	<b>5.89</b>	<b>0.55</b>	<u>84.7</u>
Пределы колебаний средних содержаний в растениях мира по [24]		12–47	0.36–8.0	0.009–1.5	1.1–33.1	0.03–0.57	0.02–0.2	0.33–2.3	0.13–2.7	0.01–0.15	

Примечание. Прочерк – нет данных, выделение жирным шрифтом – превышение средних концентраций в растениях.

грязнения токсичными элементами у надземной и подземной частей растений находится в пределах от среднего ( $Z_c = 6.2$  и  $3.3$ ) до сильного ( $Z_c = 13.9$  и  $11.1$ ) уровня. При проращивании редиса и овса на водной вытяжке из техногенных песков хвостохранилища руч. Барун-Нарын в них отмечено превышение (относительно средних содержаний в растениях мира) таких элементов, как Zn, Co, Cr и Ni, с показателем суммарного загрязнения в надземной части – от 22.2 до 38.5 и в подземной части – 60.9 (см. табл. 5).

Таким образом, в тест-культурах при их проращивании на техногенных песках дельтовой залежи р. Модонкуль и водных вытяжках из них преобладает накопление Mo и W; на хвостохранилище руч. Барун-Нарын – Zn, Pb, As, Cu, Co, Cr и Ni. Данное обстоятельство связано в целом с более высокими содержаниями отмеченных выше элементов в изучаемом субстрате.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенные пески хвостохранилища отходов переработки сульфидно-вольфрамовых руд руч. Барун-Нарын и переотложенные в дельте р. Модонкуль по содержанию токсичных элементов относятся к экологически чрезвычайно опасным. Несмотря на то, что эти техногенные пески относятся к категории чрезвычайно опасных с показателем суммарного загрязнения 425–500, фитотоксичность их в отношении пророщенных на них растений различна: пески хвостохранилища руч. Барун-Нарын относятся к II (высокому) классу токсичности; пески дельтовой залежи р. Модонкуль – к IV (низкому) классу токсичности. Водные вытяжки из них обладают в целом более слабым фитотоксичным эффектом по сравнению с собственно техногенными песками. Полученные фактические данные свидетельствуют, что при оценке влияния техногенных объектов (в частности хвостохранилищ отходов горно-обогательного производства) на экосистемы, наряду с определением “прямого” химического (токсического) загрязнения этих отходов необходимо в обязательном порядке изучать и их фитотоксичность.

*Исследования поддержаны грантом РФФИ № 13-05-01155а; РФФИ № 15-45-04123\_р\_сибирь\_а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдина В.М., Соболева А.Н., Дик Э.П., Терехова В.А. Анализ эффективности методик биотестирования в экологической оценке загрязненных почв и отходов различного происхождения // Ма-

- тер. междунар. конф. “Проблемы биодеструкции техногенных загрязнителей окружающей среды”. Саратов: Ин-т биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, 2005. С. 125–126.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7. 2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. /<http://eco-profi.info/index.php/othod/liter/article/dokum-klop/18-pochva/632-gn-2-1-7-2511-09.html>
3. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. / <http://www.gosthelp.ru/gost/gost48851.html>
4. Добровольский Г.В., Терехова В.А., Дегбугадзе Ю.Ю. Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 365–367.
5. Доржонова В.О. Фитоэкстракция и фитотоксичность тяжелых металлов в загрязненных почвах // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 22 с.
6. Жалсараев Б.Ж., Кутовой А.Н., Цынгуев В.Г. Рентгеновский спектрометр. Пат. 2397481, РФ // БИ. № 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 загрязнения растений // Агрохимия. 1992. № 5. С. 110–115.
8. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2009. Т. 1. № 1. С. 82–92.
9. Методические указания МУ 1.2.2968-11. Порядок биологической оценки действия наноматериалов на растения по морфологическим признакам / <http://03.gospotrebnadzor.ru/documents/ros/ukaz/80459/>
10. Саен Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
11. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов / [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_501.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_501.html)
12. Сафронова Л.А., Ефремова А.А., Чиченкова Л.Г. Определение класса опасности отходов методом биотестирования // Экологические проблемы промышленных городов. Ч. 2. Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2009. С. 221–222.
13. Смирнова О.К., Дамтилова Б.В. Динамика форм нахождения свинца, цинка, меди и их биодоступность в лежалых хвостах обогащения сульфидно-вольфрамовых руд // Сб. тр. III Всерос. симп. с междунар. участием “Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий”. Чита: Ин-т природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2010. С. 58–62.

14. Смирнова О.К., Плюсин А.М. Джидинский рудный район (проблемы, состояние окружающей среды). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 181 с.
15. Смирнова О.К., Ходанович П.Ю., Яценко Р.И. Тяжелые металлы в техногенных ландшафтах района Джидинского горно-обогатительного комбината // Сб. тр. I Всерос. симп. с междунар. участием "Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий". Чита: Ин-т природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2006. С. 82–87.
16. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198 [Terekhova V.A. Soil bioassay: Problems and approaches // Eurasian Soil Science. 2011. V. 44. No 2. P. 173–179].
17. Убугунов В.Л., Доржонов В.О. Оценка фитотоксичности свинца в дерново-подбуре // Вестн. ТГУ. 2010. № 3. С. 207–211.
18. Убугунов В.Л., Доржонов В.О., Убугунов Л.Л. Оценка фитотоксичности свинца в каштановой почве и дерново-подбуре (Западное Забайкалье) // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 3. С. 19–21.
19. Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений // Сб. научн. докл. VII междунар. конф. "Экология и развитие Северо-Запада России". СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2002. С. 441–451.
20. Экологическое почвоведение. Лабораторные занятия для студентов-экологов (бакалавров). Методические указания / Сост. И.Н. Волкова, Г.В. Кондакова. Ярославль: ЯГУ, 2002. 35 с.
21. Яценко Р.И. Способы и интенсивность рассеяния загрязняющих веществ от обогатительной фабрики Джидинского молибден-вольфрамового ГОКа // Ежегодник БНЦ СО РАН. Вып. 1. Улан-Удэ, 1994. С. 71–75.
22. Branzini A., Zubillaga M.S. Assessing phytotoxicity of heavy metals in remediated soil // Int. J. of Phytoremediation. 2010. V. 12(4). P. 335–342.
23. Cui Y., Du X. Soil heavy-metal speciation and wheat phytotoxicity in the vicinity of an abandoned lead-zinc mine in Shangyu City, eastern China // Environ Earth Sci. 2011. V. 62. P. 257–264.
24. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. 505 p.
25. Oros V. Aquatic phytotoxicity of heavy metals: Cu, Cd and Zn ecotoxicological tests with duckweed plants (*Lemna minor*) // Environmental Engineering and Management Journal. 2013. V. 12. № 2. P. 343–350.
26. Salvatore M. Di, Carafa A.M., Carratù G. Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: a comparison of two growth substrates // Chemosphere. 2008. V. 73. P. 1461–1464.
27. Shaikh I.R., Shaikh P.R., Shaikh R.A., Shaikh A.A. Phytotoxic effects of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth in black cotton soil of Nanded, India // Research Journal of Chemical Sciences. 2013. V. 3(6). P. 14–23.

REFERENCES

1. Burdina, V.M., Soboleva, A.N., Dik, E.P., Terekhova, V.A. [Analysis of efficiency of biotesting methods for environmental assessment of contaminated soils and wastes of various origins]. *Mat. mezhd. konf. "Problemy biodestruktsii tekhnogennykh zagryaznitelei okruzhayushchei sredy"* [Proc. of the Int. Symp. "Problems of biodegradation of anthropogenic pollutants"]. Saratov, Institute of biochemistry and physiology of plants and microorganisms Russian Academy of Sciences, 2005, pp. 125–126 (in Russian).
2. GN 2.1.7.2511-09. *Gigienicheskie normativy. Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve*. [Hygienic norms HN 2.1.7.2511-09. Approximate permissible concentration (APC) of chemical substances in soil]. Available at: <http://eco-profi.info/index.php/othod/liter/article/dokum-klop/18-pochva/632-gn-2-1-7-2511-09.html>. (accessed 26.05.2015).
3. GOST R ISO 22030-2009. *Kachestvo pochvy. Biologicheskie metody. Khronicheskaya fitotoksichnost' v otnoshenii vysshikh rastenii* [Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity for higher plants]. Available at: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost48851.html>. (accessed 26.05.2015).
4. Dobrovolskii, G.V., Terekhova, V.A., Dgebuadze, Yu. Yu. *Biodiagnostika v ekologicheskoi otsenke pochv i sopredelnykh sred* [Bioindication in the ecological assessment of soils and related habitats]. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2013, no. 4, pp. 365–367 (in Russian).
5. Dorzhonova, V.O. *Fitoekstraktsiya i fitotoksichnost' tyazhelykh metallov v zagryaznennykh pochvakh. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Phytoextraction and phytotoxicity of heavy metals in contaminated soils. Extended abstract of Cand. Sci. Dissertation (Biol.)]. Ulan-Ude, BSC Publishing House, 2013. 22 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. Kasatikov, V.A. *Kriterii zagryaznennosti pochvy i rastenii mikroelementami, tyazhelymi metallami pri ispol'zovanii v kachestve udobreniya osadkov gorodskikh stochnykh vod. Soobshchenie 2. Kriterii zagryazneniya rastenii* [Criteria of soil and plant

- contamination with trace elements and heavy metals when used as a fertilizer of urban wastewater sediments. Report 2. Criteria of plant pollution]. *Agrokimiya*, 1992, no. 5, pp. 110–115.
8. Neverova, O.A. Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushchei sredy [Application of phytoindication in the assessment of environmental pollution]. *Biosfera*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 82–92.
  9. МУ 1.2.2968-11. *Metodicheskie ukazaniya. Poryadok biologicheskoi otsenki deystviya nanomaterialov na rasteniya po morfologicheskim priznakam* [Methodical instructions MI 1.2.2968-11. Order of biological evaluation of nanomaterials impact on plant morphological characteristics]. Available at: [http://standart-gost.ru/g/МУ\\_1.2.2968-11](http://standart-gost.ru/g/МУ_1.2.2968-11). (accessed 26.05.2015).
  10. Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P. et al. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra, 1990, 335 p. (in Russian).
  11. SanPiN 2.1.7.1287-03. *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy i gruntov* [Sanitary rules and norms 2.1.7.1287-03. Sanitary-epidemiological requirements to the quality of soils and grounds] Available at: [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_501.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_501.html) (accessed 26.05.2015).
  12. Safronova, L.A., Efremova, A.A., Chichenkova, L.G. [Determination of waste hazard class by biotesting]. *Sbornik nauchnykh trudov "Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov"* [Proc. "Ecological problems in industrial cities"]. Saratov, Saratov State Technological University, 2009, ch. 2, pp. 221–222 (in Russian).
  13. Smirnova, O.K., Dampilova, B.V. [Dynamic of lead, zinc, and copper and their biological accessibility in stale tailings after dressing of sulfide-tungsten ores]. *Trudy III Vserossiiskogo simpoziuma mezhdunarodnym uchastiem "Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territorii"* [Proc. of III All-Russian Symp. with intern. participation "Mineralogy and geochemistry of landscape in ore-mining areas"] Chita, Institute of natural resources, ecology and cryology, SB RAS, 2010, pp. 58–62 (in Russian).
  14. Smirnova, O.K., Plyusnin, A.M. *Dzhidinskii rudnyi raion (problemy sostoyaniya okruzhayushchei sredy)*. [Dzhidinskii ore-mining region (problems of environmental state)]. Ulan-Ude, BSC Publishing House, 2013, 181 p. (in Russian).
  15. Smirnova, O.K., Khodanovich, P.Yu., Yatsenko, R.I. [Heavy metals in technogenic landscapes of the Dzhida ore mining and processing works region]. *Trudy I Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem "Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territorii"* [Proc. of the First All-Russ. Symp. with Intern. Participation "Mineralogy and geochemistry of landscape in ore-mining areas"]. Chita, Institute of natural resources, ecology and cryology, SB RAS, 2006, pp. 82–87 (in Russian).
  16. Terekhova, V.A. Biotestirovanie pochv: podkhody i problemy [Soil bioassay: problems and approaches]. *Pochvovedenie*, 2011, no. 2, pp. 190–198 (in Russian) [*Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, no. 2, pp. 173–179].
  17. Ubudunov, V.L., Dorzhonova, V.O. Otsenka fitotoksichnosti svintsya v dernovom podbure [Assessment of lead phytotoxicity in soddy brown soil]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 3, pp. 207–211 (in Russian).
  18. Ubudunov, V.L., Dorzhonova, V.O., Ubudunov, L.L. *Otsenka fitotoksichnosti svintsya v kashtanovoi pochve i dernovo-podbure (Zapadnoe Zabaikal'e)* [Assessment of lead phytotoxicity in the chestnut and soddy brown soil (Western Transbaikalia)]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2010, no. 3, pp. 19–21 (in Russian).
  19. Shuiskii, V.F., Maksimova, T.V., Petrov, D.S. [Bioindication of water environment quality, state of freshwater ecosystems and anthropogenic changes]. *Sb. nauchn. dokl. VII mezhdunar. konf. "Ekologiya i razvitie Severo-Zapada Rossii"* [Collection of scientific reports of the VII international conference "Ecology and the development of North-West Russia"]. St. Petersburg, IAELPS Publishing House, 2002, pp. 441–451 (in Russian).
  20. *Ekologicheskoe pochvovedenie. Laboratornye zanyatiya dlya studentov-ekologov (bakalavrov). Metodicheskie ukazaniya* [Environmental soil science. Laboratory works for students in ecology (bachelors). Methodical instructions]. Volkova, I.N., Kondakova, G.V. Yaroslavl, Publ. House of Yaroslavl University, 2002, 35 p. (in Russian).
  21. Yatsenko, R.I. [Assessment methods and intensity of pollutants dispersion around the molybdenum-tungsten ore mining and processing enterprise] *Ezhegodnik BNTS SO RAN* [Annual edition BSC SB RAS]. Ulan-Ude, 1994, vol. 1, pp. 71–75 (in Russian).
  22. Branzini, A. and Zubillaga, M.S. Assessing phytotoxicity of heavy metals in remediated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 2010, vol. 12(4), pp. 335–342.
  23. Cui, Y. and Du, X. Soil heavy-metal speciation and wheat phytotoxicity in the vicinity of an abandoned lead-zinc mine in Shangyu City, eastern China. *Environ. Earth Sci.*, 2011, vol. 62, pp. 257–264.
  24. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. 505 p.
  25. Oros, V. Aquatic phytotoxicity of heavy metals: Cu, Cd and Zn ecotoxicological tests with duckweed plants (*Lemna minor*). *Environmental Engineering and Management Journal*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 343–350.
  26. Salvatore, M. D., Carafa, A.M., Carratù, G. Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: a comparison of two growth



- substrates. *Chemosphere*, 2008, vol. 73, pp. 1461–1464.
27. Shaikh, I.R., Shaikh, P.R., Shaikh, R.A. and Shaikh, A.A. Phytotoxic effects of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on wheat (*Triticumaestivum* L.) seed germination and seedlings growth in black cotton soil of Nanded, India. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2013, vol. 3(6), pp. 14–23.

## PHYTOTOXICITY OF TUNGSTEN-SULFIDE ORE BENEFICATION TAILINGS AT DZHIDINSKII ORE DEPOSIT (THE WESTERN CISBAIKAL REGION)

S. G. Doroshkevich, I. V. Bardamova

*Geological institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Sakh'yanovoi 6a, Ulan-Ude, 670047 Russia. E-mail: sv-dorosh@mail.ru*

The phytotoxicity of waste (the technogenic sand of the Barun-Naryn tailing and the Modonkul river deltoid deposit formed by the emergency breakthroughs of the tailings dam) of the Dzhidinskii tungsten-molybdenum enterprise has been studied. The content of toxic chemical elements (Pb, Zn, As, Cu, Co, Mo, Ni, W) in technogenic sands is revealed to be extremely dangerous, the total contamination index (Zc) being 425–500.

With respect to test cultures, the sands show different phytotoxicity. The technogenic sand of the Modonkul deltoid deposit is classified as the IV (low) toxicity class, whereas its water extract shows the V toxicity class (corresponding to the norm). This sand does not exert any damaging effect on peas and oats, and it affects radish weakly. The technogenic sand of the Barun-Naryn tailings and its water extract are referred to the II (high) toxicity class. Their influence on oats is of middle level, but they affect peas and radish badly. According to their phytotoxic effect, the test cultures form the following increasing order: oats–radish–peas.

In general, the test cultures accumulate Mo and W upon their germination on technogenic sands and water extracts from the Modonkul deltoid deposit; whereas, they accumulate Zn, Pb, As, Cu, Co, Cr and Ni upon using sand of the Barun-Naryn tailings. The maximum accumulation of chemical elements is registered in the radish sprouts.

The index of total pollution by toxic elements (Zc) of test-cultures grown on the technogenic sands from the Modonkul deltoid deposit is equal to a high level (27.6–86.7, at the aboveground part of plants; and 53.1–177.8, in the underground plant parts). For the plants grown on water extract of the technogenic sands from the Modonkul deltoid deposit, this index varies from medium (6.2 and 3.3) to high (13.9 and 11.1, in aboveground and underground plant parts, respectively) level.

The index of total pollution by toxic elements of test cultures grown on the technogenic sands from the Barun-Naryn tailings is 132.7 and 84.7 in radish and oats, respectively. This index is lower in the plants grown on their water extract (aboveground part of plants – 22.2 to 38.5, and underground parts – 60.9).

**Keywords:** *phytotoxicity, ore beneficiation tailings, Dzhidinskii tungsten-molybdenum ore processing enterprise.*