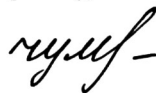


0- 779359

*На правах рукописи*



ЧУМАЧЕНКО ЕКАТЕРИНА АНАТОЛЬЕВНА

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО  
ПОКРОВА ОТХОДАМИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ КЕРБИНСКОГО ПРИИСКА)**

03.00.16 – экология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Владивосток, 2009

Работа выполнена на кафедре экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности Тихоокеанского государственного университета Министерства образования и науки РФ

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор  
**Крупская Людмила Тимофеевна**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, доцент  
**Фадеева Наталья Петровна**

кандидат биологических наук  
**Симоконов Михаил Витальевич**

Ведущая организация: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

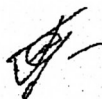
Защита состоится 14 ноября в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.056.02 при Дальневосточном государственном университете МОН РФ по адресу: 690091, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27, ауд. 435.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 690091, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27, каб. 417, кафедра общей экологии.  
Факс (4232) 45-94-09; e-mail: marineecology@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Дальневосточного государственного университета МОН РФ

Автореферат разослан 12 октября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000620612

Ю.А. Галышева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Усиление техногенного воздействия на окружающую среду обусловило напряженную экологическую обстановку в окрестностях золотодобывающих предприятий. Одним из главных негативных факторов влияния горных работ на компоненты биосферы является складирование отходов обогащения. Интенсивное развитие промышленного производства ведет к образованию большого объема вскрышных, рудовмещающих горных пород и отходов переработки минерального сырья. В настоящее время на горных предприятиях Хабаровского края накоплено около 306 млн. т. отходов, из них объем вскрышных пород составил примерно 200,4 млн. т. Они способствуют отчуждению хозяйственно ценных земель, нарушению эстетической ценности горных ландшафтов, уничтожению почв и снижению видового разнообразия растительности и животного мира. В минеральном составе отходов обогащения особое место занимают тяжелые металлы, так как они участвуют в формировании агрессивных водных растворов и увеличении концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде. Накопление поллютантов биотой токсично не только для нее, но и для человека, что ведет к увеличению заболеваемости населения горняцких поселков.

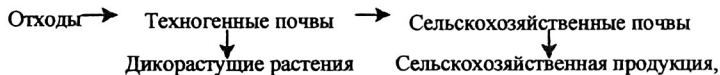
Положение усугубляется тем, что при разработке золотороссышных месторождений до 1990-х годов прошлого столетия одной из обязательных технологических стадий обогащения золотоносных песков был процесс амальгамации, в результате которого в окружающую среду поступали ртуть и другие токсичные элементы.

Поэтому проблема оценки техногенного загрязнения объектов природной среды отходами переработки месторождений полезных ископаемых и их воздействия на живые организмы является актуальной для обеспечения экологической безопасности.

**Цель исследования** – оценить последствия техногенного загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) почвенно-растительного покрова в результате эксплуатации шлихообогатительной установки (ШОУ) для обеспечения экологической безопасности посттехногенных экосистем в условиях Дальнего Востока.

### Задачи исследования:

1. Проанализировать, обобщить и систематизировать литературные данные по техногенному загрязнению объектов природной среды в районе воздействия горных предприятий;
2. Оценить отходы шлихообогатительной установки как источника загрязнения экосистем;
3. Выявить закономерности в распределении содержания тяжелых металлов в техногенных почвах и растительности;
4. Изучить ответную реакцию растений-биоиндикаторов и почвенных микроорганизмов на техногенное загрязнение экосистем тяжелыми металлами;
5. Рассмотреть особенности миграции тяжелых металлов по цепи:



и их влияние на здоровье населения в селитебной зоне;

6. Разработать предложения по снижению негативного влияния отходов горного производства на компоненты экосистем.

**Научная новизна.** Выявлена существенная роль шлихообогатительной установки в загрязнении почвенного покрова и растительности тяжелыми металлами, в т.ч. ртутью. Впервые проведенные комплексные исследования по накоплению и распространению тяжелых металлов (Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, As, Ni, Zr, Sn, W) в компонентах экосистем зоны влияния ШОУ Кербинского прииска показали связь аккумуляции поллютантов в техногенных почвах с количественным содержанием органического вещества и особенностями рельефа, а также существование корреляции между содержанием подвижных



## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение.** Обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

### **Глава 1. Состояние проблемы и подходы к оценке техногенного загрязнения природной среды отходами горнодобывающего комплекса (обзор литературы)**

В главе рассмотрено влияние отходов переработки золотороссыпных месторождений на почвенно-растительный покров. Исследователями в основу оценки загрязнения почв тяжелыми металлами положена количественная характеристика их элементного состава. Степень загрязнения почвенного покрова учеными разных регионов определена по величине накопления загрязняющих веществ относительно значений предельно допустимых концентраций (ПДК) или фонового загрязнения, по состоянию растений и микрофлоры. Авторами предложены различные методы воспроизводства продуктивности почв. К настоящему времени установлено высокое содержание ТМ в отходах, образующихся при разработке россыпных месторождений, в частности, отвалах и в отходах ШОУ и, как следствие, интенсивное техногенное загрязнение экосистем. Имеющиеся в литературе количественные данные, характеризующие процессы фиксации и переноса тяжелых металлов в природно-техногенных системах севера Хабаровского края, ограничены. Слабо изученными на Дальнем Востоке оказались вопросы оценки техногенного загрязнения токсичными элементами экосистем в процессе переработки золотороссыпных месторождений и методов их защиты, а также вопросы заболеваемости населения в поселках, расположенных вблизи складирования отходов. Данное обстоятельство обуславливает важность и актуальность проблемы изучения техногенного загрязнения экосистем тяжелыми металлами.

### **Глава 2. Район работ и методы исследования**

Исследования проводились в период с 2004 г. по 2008 г. на территории Кербинского прииска в зоне влияния шлихообогатительной установки, расположенной в п. Бриакан (район им. П. Осипенко Хабаровского края) (рис. 1).

Климат исследуемого региона носит муссонно-континентальный характер. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , максимальная температура воздуха в июле  $-25^{\circ}\text{C}$ , минимальная (в январе)  $-30^{\circ}\text{C}$ . Суммарное годовое количество осадков за период с 2004 по 2007 гг. колеблется в пределах 660–750 мм. В течение года преобладают северный, северо-западный и западные ветра при скорости ветра от 0 до 3 м/с. Годовое количество штилей – 38 %. В период исследований наблюдаются неблагоприятные метеорологические условия для рассеивания примесей в атмосфере из-за слабых ветров и преобладания штилей. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет около 103–113 дней.

В районе им. П. Осипенко формируются подзолистые иллювиально-гумусовые почвы, буро-таежные иллювиально-гумусовые почвы, буроземы грубогумусовые, дерново-подзолистые почвы, болотные почвы, луговые почвы, пойменные аллювиально-слоистые почвы (Ливеровский, Рубцова, 1962; Махинова, 1989). Развитие горнодобывающей промышленности повлекло за собой нарушение почвенного покрова на значительной территории региона и формирование специфических техногенно-нарушенных площадей. Техногенные почвы не дифференцированы по генетическим горизонтам, перемешаны со щебенкой и обломочным материалом коренных пород. Естественное зарастание на таких участках затруднено (Крупская, 1992).

Исследуемый район согласно схеме геоботанического районирования Дальнего Востока относится к Евразийской хвойно-лесной области, южно-охотской подобласти темнохвойных лесов Амуро-Охотской провинции (Колесников, 1963). По характеру распространения и видовому составу растительности выделены три зоны: зона высокогорной

растительности, лесная зона, зона болотно-луговой растительности. В видовом составе наиболее бедной является высокогорная зона, охватывающая вершины гор и крутые горные склоны. Лесная растительность занимает около 80% площади. Болотно-луговая растительность приурочена к Нимелен-Чукчагирской низменности и пойме реки Амгунь и ее притоков.

Таким образом, неблагоприятные природно-климатические особенности района исследования способствуют техногенному загрязнению почвенно-растительного покрова.

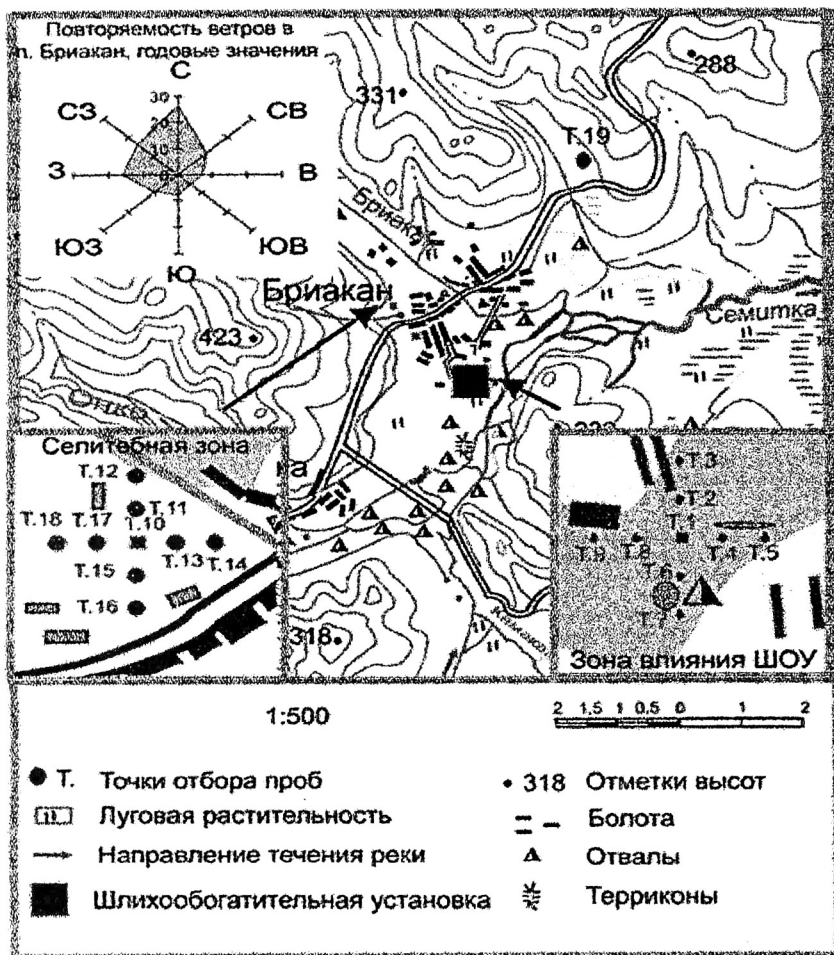


Рис. 1. Карта-схема района исследования (Кербинский прииск)

На экспериментальных участках отбирались образцы отходов, техногенных и сельскохозяйственных почв, растительности. Объемы выполненных работ представлены в таблице 1.

Отбор проб осуществлялся радиальным методом: в центре шлихообогатительной установки, а также на расстоянии 100 м и 300 м от центра ШОУ по сторонам света (север, восток, юг, запад). В качестве фонового был выбран наиболее удаленный от основных источников загрязнения участок в 10 км от ШОУ по трассе п. Бриакан – п. им. П. Осипенко. При этом учитывалась «роза ветров».

В зоне влияния ШОУ проводилось изучение видового разнообразия растительности, на основании которого были выбраны преобладающие виды растений для дальнейших исследований по накоплению тяжелых металлов и выявлению биоиндикаторов (полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), пижма северная (*Tanacetum boreale*), ольховник кустарниковый (*Duschekia fruticosa*), береза плосколистная (*Betula platyphylla*), малина сахалинская (*Rubus sachalinensis*), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*), лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*), багульник болотный (*Ledum palustre*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), плаун булавовидный (*Lycopodium clavatum*), кукушкин лен обыкновенный (*Polytrichum commune*), укос трав: Иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*), Дудник Максимовича (*Angelica maximowiczii*), Чистец шероховатый (*Stachys aspera*), Мытник перевернутый (*Pedicularis resupinata*), Зверобой Гейлера (*Hypericum gebleri*), Майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), Осока вздутоносая (*Carex rhynchophylla*), Осока жилкоплодная (*Carex neurocarpa*), Болотница йокосукская (*Eleocharis yokoscensis*), Ситник нитевидный (*Juncus filiformis*), Ситник жабий (*Juncus bufonius*), Полевика булавовидная (*Agrostis clavata*), Вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), Мятлик узколистный (*Poa angustifolia*), Мятлик луговой (*Poa pratensis*), Лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), Тимофеевка луговая (*Phleum pratense*). Видовая принадлежность растений определялась общепринятыми методиками (Ворошилов, 1982; Сосудистые растения, 1985–1996).

Таблица 1

## Объемы выполненных работ за 2004–2008 гг.

Виды работ на пробных участках	Количество анализов в объектах				
	Отходы	Техногенные почвы	Сельскохозяйственные почвы	Растительность	Итого
Количество отобранных образцов	78	204	108	230	660
Определение содержания ТМ (Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, As, Ni, Zr, Sn, W)	156	408	216	230	1090
pH, гумус	34	84	58	—	176
«Ростовой тест»	—	72	—	—	72
Микробиологические показатели	—	36	36	—	72

В процессе исследований применялись биологические методы («Ростовой тест» и микробиологические показатели). В качестве объектов исследования для тест-системы «Ростовой тест» были выбраны горчица листовая (*Brassica juncea L.*) и лук батун (*Allium fistulosus L.*). Фиксировались изменения длины и веса проростка, рассчитывались всхожесть и энергия прорастания семян (Майсурия, 1960; ГОСТ 12039–82; Практикум по растениеводству, 1970).

Микроорганизмы, использующие органические формы азота, выявлялись на мясопептонном агаре (МПА). Бактерии и актиномицеты, способные использовать минеральные формы азота, выделялись на крахмально-аммиачном агаре (КАА). Олиготрофные микроорганизмы, мелкие, слизистые, бесцветные колонии, учитывались в среде Эшби. Микроскопические грибы обнаруживались на сусло-агаре. Учет численности почвенных микроорганизмов проводился прямыми методами по С.Н. Виноградскому (Звягинцев, 1978; Летунова и др., 1978).

Образцы техногенных и сельскохозяйственных почв отбирались с учетом ГОСТ 17.4.3.01–83, ГОСТ 17.4.4.02–84, растительности – ГОСТ 27262–87. Пробы анализировались на содержание тяжелых металлов (Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, As, Ni, Zr, Sn, W) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ICP–MS ELAN DRC II PerkinElmer. Подвижные формы Zn, Pb, Cu, Mn определялись методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на ААС-30. Содержание гумуса в техногенных почвах определялось по методу Тюрина (ГОСТ 26213–84), органического вещества – по ГОСТ 26213-91, pH – по ГОСТ 26483–85.

Для оценки экологического состояния природных сред рассчитывался ряд показателей (Черных и др., 2003):

Коэффициент концентрации (Kc):

$$Kc = \frac{C_{\text{проба}}}{C_{\text{фон}}},$$

где  $C_{\text{проба}}$  – концентрация тяжелых металлов в пробах техногенных и сельскохозяйственных почв, мг/кг,

$C_{\text{фон}}$  – соответствующие фоновые концентрации, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения (Zc):

$$Zc = \sum Kc - (n - 1),$$

где Kc – коэффициенты концентрации элементов, показывающие отношение содержания элементов в пробах к фоновым концентрациям;

n – число элементов.

Коэффициент биологического накопления (КБН):

$$КБН = \frac{C_{\text{раст}}}{C_{\text{почв}}},$$

где  $C_{\text{раст}}$  – концентрация в растительных образцах, мг/кг;

$C_{\text{почв}}$  – концентрация в исследуемых почвах, мг/кг.

Степень значимости тяжелых металлов в техногенных почвах зоны влияния ШОУ ( $S_z, \%$ ) оценивались путем составления геохимических рядов, с дальнейшим ее определением по формуле:

$$S_z = \frac{m \cdot 100}{N},$$

где m – количество точек с преобладающим тяжелым металлом в загрязнении по каждой степени значимости;

N – количество опробованных площадей, штук.

Статистическая обработка данных проводилась в программах MS Excel, Geostatic. Рисунок и карты обрабатывались с помощью программ Photoshop, MS Visio, CorelDraw.

### Глава 3. Оценка отходов переработки золотодобывающего сырья как источника загрязнения экосистем

При рассмотрении механизма техногенного загрязнения природных систем выделено три основных экологических блока: источники загрязнения, транзитные среды, депонирующие среды.

Оценивая месторождение как потенциальный источник техногенного загрязнения природных систем, учитываются минеральный и вещественный состав руд и отходов, который определяется компонентами пород и рудных зон. Установлено, что минеральный состав отходов обогащения россыпных месторождений ШОУ Кербинского прииска разнообразен. Главными минералами являются: вольфрамит, ильменит, магнетит, гранат, гематит, второстепенными – касситерит, арсенопирит, галенит, эпидот, циркон, пироксен, киноварь. Тяжелые фракции отходов обогащения богаты ильменитом, цирконом. Они

характеризуются большим количеством тяжелых металлов: W, Zr, As, Sn, Cu, Pb, Zn, Hg, Mn, Ni и др.

#### Глава 4. Техногенное загрязнение компонентов экосистем зоны влияния шлихообогатительной установки

##### 4.1. Содержание тяжелых металлов в техногенных почвах зоны влияния шлихообогатительной установки

На первом этапе эксперимента выявлено, что валовые содержания Hg, Pb, Zn, Cu, As, W, Zr, Sn в техногенных почвах превышают их фоновые значения (табл. 2). Установлено, что концентрация Hg, Pb, Zn, As выше ПДК.

Таблица 2

Валовые содержания тяжелых металлов в техногенных почвах на территории ШОУ, мг/кг

Место отбора пробы	Hg	Pb	Zn	Cu	As	W	Zr	Sn
Центр ШОУ	84,8/65,2	97/30	87,7/70,7	43,7/36	629/411	545/312	35,4/22,9	6,3/3,8
Восток 100 м	1,41/1,13	19,6/22	89,7/90,5	18,4/22,4	37,9/36,1	4/3,2	25,4/39,5	3,6/3,6
Восток 300 м	0,33/0,21	20,4/22,2	95,8/89,3	23,4/20,6	35,3/36,6	2,7/2,1	30,7/22,4	3,1/2,4
Юг 100 м	0,81/0,30	20,9/19,3	95,4/83	22,8/18,3	36,1/35,3	2,6/1,8	28,2/28,5	3,3/3,7
Юг 300 м	0,44/0,11	15,8/17,7	87,7/83,5	15,6/16,7	26,9/32,8	1,8/1,4	33,4/29,2	3,7/4
Север 100 м	0,19/0,28	54,8/58,1	99,9/120	29,4/30,5	17,7/21,1	2,2/2,1	34,1/28,7	3,9/3,4
Север 300 м	0,36/0,41	42,8/21,7	79,3/73,5	21,5/17,3	18,5/21,9	2,4/3,7	38,5/34,7	3,2/2,1
Запад 100 м	0,37/0,18	19,9/21,4	76/84	12,2/14,8	36,9/36,3	3/2,1	33,4/33,7	3,5/3,8
Запад 300 м	1,10/0,27	22,2/21,1	105/111	27/18,9	39,942,3/	3,9/3,3	36/35,9	7,4/6,2
ПДК	2,1	30	100	55	2	—	—	—
Фон	0,10	10,97	47,08	7,50	11,89	1,10	19,61	2,02

Примечание: в числителе – концентрация металлов в техногенных почвах, отобранных на глубине 0–10 см, в знаменателе – 10–20 см.

Содержания подвижных форм ТМ в техногенных почвах в зоне влияния ШОУ в значительной степени превышают фоновые значения практически во всех направлениях от его центра (табл. 3).

Таблица 3

Содержание подвижных форм ТМ в техногенных почвах на территории ШОУ, мг/кг

Место отбора пробы	Глубина 0-10 см			Глубина 10-20 см		
	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn
Центр ШОУ	29,95	18,95	76,30	14,24	16,49	50,73
Восток 100 м	12,19	4,07	18,43	9,55	5,32	13,37
Восток 300 м	11,85	9,05	12,69	10,35	7,06	9,46
Юг 100 м	9,18	4,40	7,35	7,15	3,43	7,16
Юг 300 м	8,17	3,67	7,77	8,27	3,31	7,62
Север 100 м	42,42	20,02	26,84	41,16	18,82	35,26
Север 300 м	14,01	8,17	11,71	10,29	6,49	3,24
Запад 100 м	7,06	2,60	2,75	6,20	1,94	1,50
Запад 300 м	10,37	7,48	14,85	8,37	3,71	5,29
Фон	8,26	5,02	4,09	5,87	3,78	2,50

Характер вертикального распределения тяжелых металлов проявляется в накоплении токсикантов в верхнем гумусовом горизонте почвы и резком снижении их содержания с

глубиной. Наши исследования показывают, что в этом горизонте находится основная масса тяжелых металлов: Hg, Zn, Cu, Pb, Sn, W (рис.2).

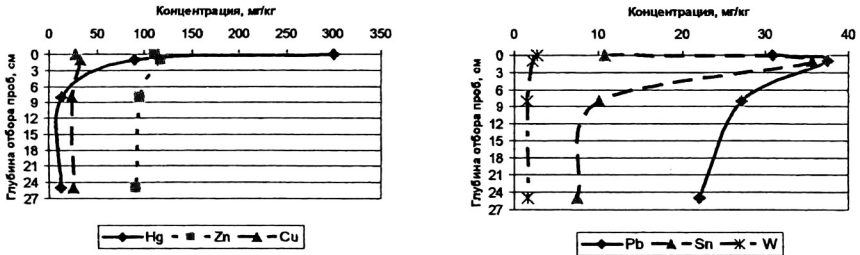


Рис. 2. Распределение тяжелых металлов в профиле техногенных почв зоны влияния ШОУ

Несомненно, процесс аккумуляции ТМ в почвенных горизонтах зависит от содержания гумуса (органического вещества), при увеличении которого снижается подвижность Pb, Cu, Zn. Количество валовой формы металлов возрастает. Установлено, что максимальные концентрации Zn, Mn, Ni зафиксированы в почвах на расстоянии 100 м от центра ШОУ и минимальные – в 300 м от него. В западном направлении высокие концентрации металлов (Hg, As, W, Zr, Sn, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn) отмечаются на расстоянии 300 м, что обусловлено понижением рельефа и высоким содержанием органического вещества, которое в верхнем горизонте (0–10 см) составляет 44,1 % и на глубине 10–20 см – 16,23 % (рис. 3, 4).

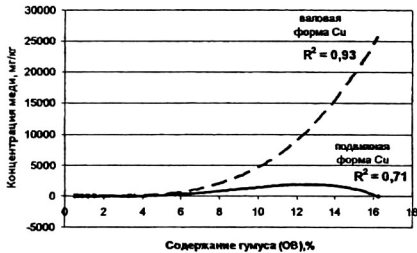


Рис. 3. Корреляционная зависимость между содержанием меди и гумуса (органического вещества - ОВ)

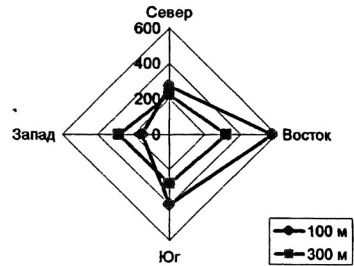


Рис. 4. Накопление Mn в зависимости от расстояния до центра ШОУ

На распределение тяжелых металлов в верхнем почвенном горизонте влияет концентрация ионов водорода (pH), изменение которой сказывается на подвижности ТМ. В кислых почвенных растворах легко мигрируют Zn, Cu, Pb (рис. 5).

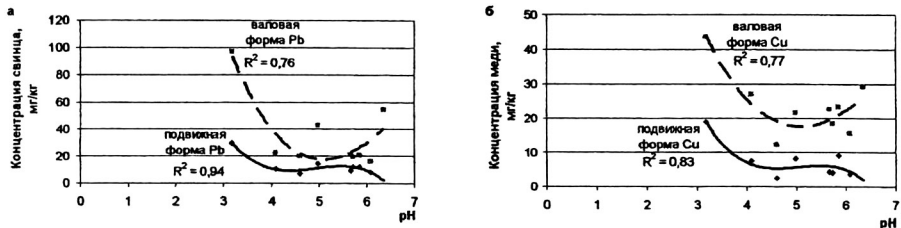


Рис. 5. Корреляционная зависимость между содержанием свинца (а), меди (б) и pH

В результате исследований техногенных почв выявлен следующий геохимический ряд:  $Hg > Cu > As > W > Zn > Pb > Ni > Zr > Sn > Mn$ . Наибольшее загрязнение тяжелыми металлами отмечается в техногенных почвах, сформировавшихся на территории расположения шлихообогатительной установки.

#### 4.2. Содержание тяжелых металлов в растительности зоны влияния шлихообогатительной установки

Исследования содержания ТМ в укосе показали, что наиболее высокая концентрация в растениях характерна для Mn и Zn. Медь, свинец, никель аккумулируются в растениях в пределах 10 мг/кг, в то время как накопление Zr, W, Hg, Sn и As незначительно (рис. 6), что согласуется с литературными данными (Ильин, 1991).

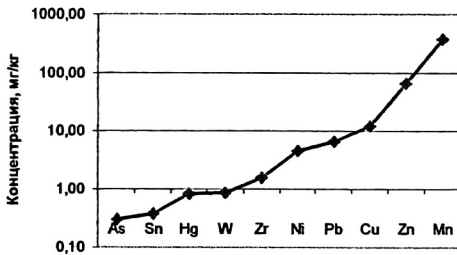


Рис. 6. Ранжирование тяжелых металлов по содержанию в растениях (укос) зоны влияния ШОУ

Различные виды растений обладают селективной способностью к накоплению тяжелых металлов даже при произрастании в одинаковых экологических условиях. Установлено, что в зависимости от значений КБН растения распределяются на энергичных накопителей и слабых захватчиков тяжелых металлов в соответствии с градацией, предложенной Н.В. Прохоровой (табл. 4).

Таблица 4

Схема дифференциации тяжелых металлов по значениям коэффициента биологического накопления в зоне влияния ШОУ Кербинского прииска

Семейство и вид растения	Элементы биологического накопления			Элементы биологического захвата	
	Энергичного накопления 100-10	Сильного накопления 10-1	Слабого накопления и среднего захвата 1-0,1	Слабого захвата 0,1-0,01	Очень слабого захвата 0,01-0,001
Польнь обыкновенная		Cu, Zn, Pb, Mn, Ni	Hg, Sn	As, Zr	W
Пижма северная		Cu, Zn, Pb, Mn	Hg, Ni		
Ольховник кустарниковый		Cu, Zn, Mn, Ni	Pb,	Hg, W, Sn, Zr	As
Кукушкин лен обыкновенный		Cu, Zn, Mn, Ni	Pb, Sn	Hg, As, Zr	W
Лиственница Каяндера		Zn, Mn	Cu, Pb, Ni,	Hg, Sn, Zr	As, W
Малина сахалинская	Cu	Zn, Pb, Mn	Ni	Hg	
Плаун булавовидный		Cu, Mn,	Zn, Pb, Ni	Hg	
Береза плосколистная		Zn, Mn, Ni	Cu	Pb, Sn, Zr	Hg, As, W
Хвощ лесной		Zn, Ni	Cu, Pb, Mn	Hg, Sn	As, W, Zr
Рябинник рябинолистный		Cu, Zn, Mn	Pb, Ni	Hg	
Багульник болотный		Zn, Pb, Mn,	Cu, Ni	Hg, Sn, Zr	As, W

Выделены виды растений, являющиеся накопителями отдельных элементов: кукушкин лен (*Polytrichum commune*) аккумулирует Cu, Zn, Mn, Ni; полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*) – Hg, As, Cu, Zn, Pb, W, Sn; малина сахалинская (*Rubus sachalinensis*) – Cu, Zn, Pb; багульник болотный (*Ledum palustre*) – Pb, Mn. Практически не накапливают тяжелых металлов: хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), береза плосколистная (*Betula platyphylla*).

Таким образом, различие миграции и накопления ТМ в почвах в зоне влияния ШОУ обусловлено природой металла, содержанием гумуса (органического вещества) и рельефом местности. Ранжирование растительности по накоплению токсикантов позволяет выделить группу растений-биоиндикаторов и рассмотреть возможность их использования для фиторемедиации почв.

## Глава 5. Биоиндикационная оценка экологического состояния почвенно-растительного покрова

### 5.1. Тестирование загрязнений тяжелыми металлами на модельных объектах

Установлено, что тяжелые металлы оказывают неблагоприятное воздействие на рост и биомассу, всхожесть и энергию прорастания семян горчицы листовой (*Brassica juncea L.*) и лука батун (*Allium fistulosus L.*). Наибольшая всхожесть и энергия прорастания отмечена в вариантах опыта с суммарным показателем загрязнения (Zc) до 20, т.е. такие концентрации металлов стимулировали всхожесть семян. Однако более высокие значения суммарного показателя, наоборот, оказывают ингибирующее действие (рис.7).

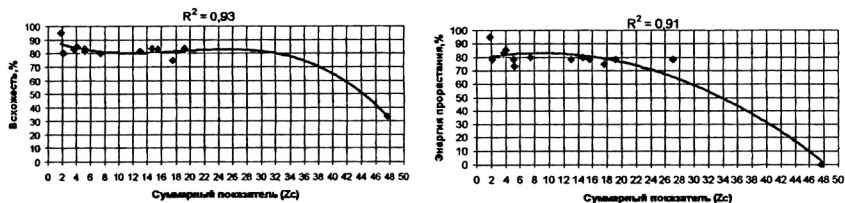


Рис. 7. Зависимость всхожести и энергии прорастания семян горчицы листовой (*Brassica juncea L.*) от суммарного показателя загрязнения (Zc)

Максимальное влияние на всхожесть и энергию прорастания семян оказывают Hg, As, Pb, Cu, причем в большей степени на лук батун (*Allium fistulosus L.*) (рис.8).

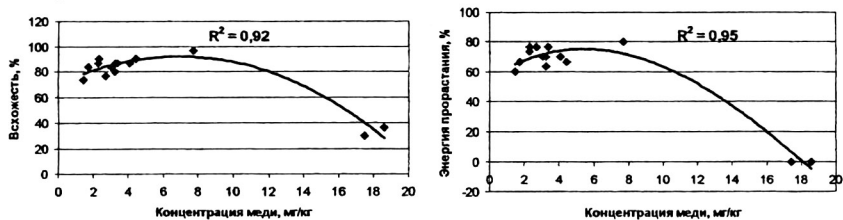


Рис. 8. Влияние концентрации меди на всхожесть и энергию прорастания лука батун (*Allium fistulosus L.*)

Наиболее сильное торможение ростовых процессов у проростков происходит под действием Pb, Zn, Cu (рис.9,10). Подобные тенденции наблюдаются для других тяжелых металлов.

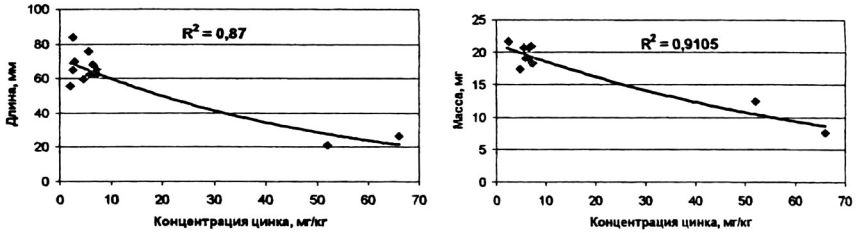


Рис. 9. Влияние концентрации цинка на рост и биомассу проростка горчицы листовой (*Brassica juncea L.*)

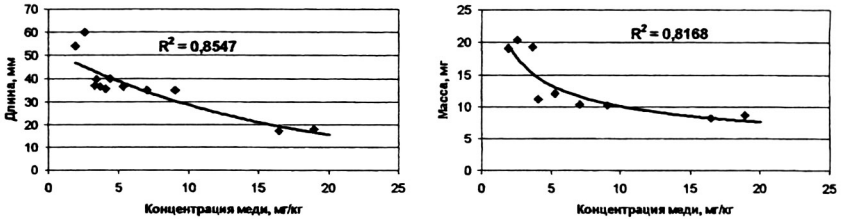


Рис. 10. Влияние концентрации меди на рост и биомассу лука батун (*Allium fistulosus L.*)

Таким образом, высокие концентрации тяжелых металлов в техногенных почвах негативно сказываются на ростовых процессах растений.

## 5.2. Влияние тяжелых металлов на численность и соотношение основных групп почвенных микроорганизмов

Отходы шлихообогатительной установки являются неблагоприятными субстратами для функционирования почвенной биоты. Недостаток питательных веществ в почве лимитирует развитие актиномицетов и микроскопических грибов. В этих условиях существенную роль в процессах почвообразования играют олигонитрофилы и бактерии, потребляющие минеральные формы азота, способные переносить длительные периоды голодания, используя как свою эндогенную систему метаболизма, так и труднодоступные для других микроорганизмов субстраты (рис. 11).

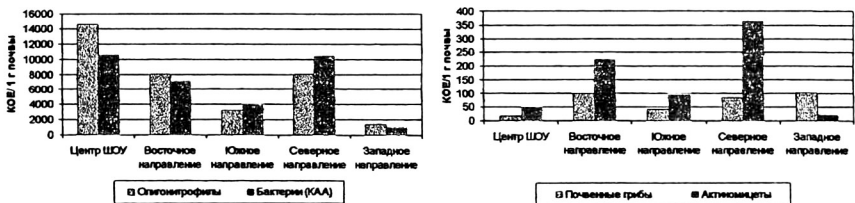


Рис. 11. Численность почвенных микроорганизмов в техногенных почвах зоны влияния ШОУ

Отмечается устойчивость бактерий (КАА), усваивающих минеральные формы азота, к загрязнению тяжелыми металлами. Для техногенных почв характерна незначительная численность актиномицетов (от 0 до 860 КОЕ/1 г почвы) (рис. 12).

Следовательно, низкие концентрации тяжелых металлов стимулируют рост численности почвенных микроорганизмов. С увеличением содержания ТМ в исследуемых почвах подавляется развитие микроорганизмов.

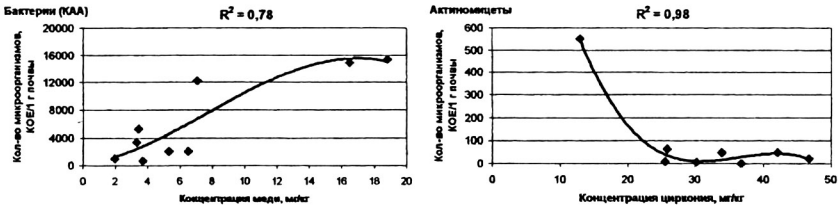


Рис. 12. Зависимость численности почвенных микроорганизмов от концентрации тяжелых металлов

Таким образом, техногенные почвы в зоне влияния ШОУ характеризуются низкой биогенностью. Бактериальный комплекс находится в угнетенном состоянии. Структура и функционирование микробоценозов нарушены.

### Глава 6. Влияние отходов шлихообогатительной установки на здоровье населения горящих поселков

Шлихообогатительная установка расположена в непосредственной близости от поселка Бриакан (1400 жителей), что определяет опасность миграции и аккумуляции ТМ в почвах селитебной зоны и сельскохозяйственной продукции. Возникает риск техногенного воздействия на здоровье населения.

Результаты исследования показали накопление свинца (7–56 мг/кг), цинка (2,5–50 мг/кг) и меди (3,8–45 мг/кг) в сельскохозяйственных почвах п. Бриакан. Вероятно, особенности местного рельефа и физико-химические свойства почв обуславливают наличие сорбционного барьера, за счет которого сформировались локальные очаги техногенного загрязнения поселка тяжелыми металлами.

Суммарный показатель загрязнения подвижными формами Pb, Cu, Zn в селитебной зоне соответствует допустимой категории загрязнения почв (табл.5).

Таблица 5

Коэффициенты концентрации (Kc) и суммарные показатели загрязнения (Zc) подвижных форм ТМ в техногенных почвах и почвах селитебной зоны

Зона	Глубина 0-10 см				Глубина 10-20 см			
	Kc <sup>Zn</sup>	Kc <sup>Cu</sup>	Kc <sup>Pb</sup>	Zc	Kc <sup>Zn</sup>	Kc <sup>Cu</sup>	Kc <sup>Pb</sup>	Zc
Селитебная зона	4,97	2,35	3,23	9,55	7,14	2,80	3,04	11,98

При изучении сельскохозяйственной продукции, произрастающей на огородах горящего поселка Бриакан (табл. 6), обнаружено, что ботва перца и картофеля аккумулируют больше тяжелых металлов, чем плоды и клубни. Ртуть в исследуемой сельскохозяйственной продукции не обнаружена, в то же время, происходит накопление мышьяка.

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции п. Бриакан, мг/кг

Сельскохозяйственная продукция	Cu	Zn	Pb	As	Hg	Zr	Sn	W	Mn	Ni
Томаты	8,05	33,68	0,7	0,14	нет	0,19	0,16	0	17,19	2,14
Морковь	2,24	25,64	0,25	0,12	нет	0,07	0,04	0,01	23,41	1,36
Ботва перца	5,26	124,49	5,28	2,04	нет	4,13	0,47	0,22	131,73	15,79
Плоды перца	3,22	24,86	0,74	0,07	нет	0,07	0,09	нет	14,78	1,18
Ботва картофеля	10,07	107,85	2,2	1,44	нет	2,66	0,32	0,11	83,89	13
Клубни картофеля	3,85	12,84	0,06	0,07	нет	0,01	0,01	нет	4,85	1,26
ПДК для свежих овощей, картофеля, фруктов, ягод, грибов	5	10	0,5	0,2	0,02	—	—	—	—	—

Высокими коэффициентами биологического накопления обладают Ni и Zn (табл. 7).

Таблица 7

Коэффициент биологического накопления (КБН) сельскохозяйственной продукцией

КБН	Ni	Cu	Zn	Pb	Mn
Томаты	0,95	0,72	0,36	0,03	0,05
Морковь	0,61	0,20	0,28	0,01	0,07
Ботва перца	<b>7,03</b>	<b>0,47</b>	<b>1,35</b>	<b>0,24</b>	<b>0,40</b>
Плоды перца	0,53	0,29	0,27	0,03	0,04
Ботва картофеля	<b>5,79</b>	0,90	<b>1,17</b>	0,10	0,25
Клубни картофеля	0,56	0,34	0,14	0,003	0,01

Наглядное представление о миграции основных поллютантов (Zn, Cu, Pb) в объектах окружающей среды дает рисунок 13.

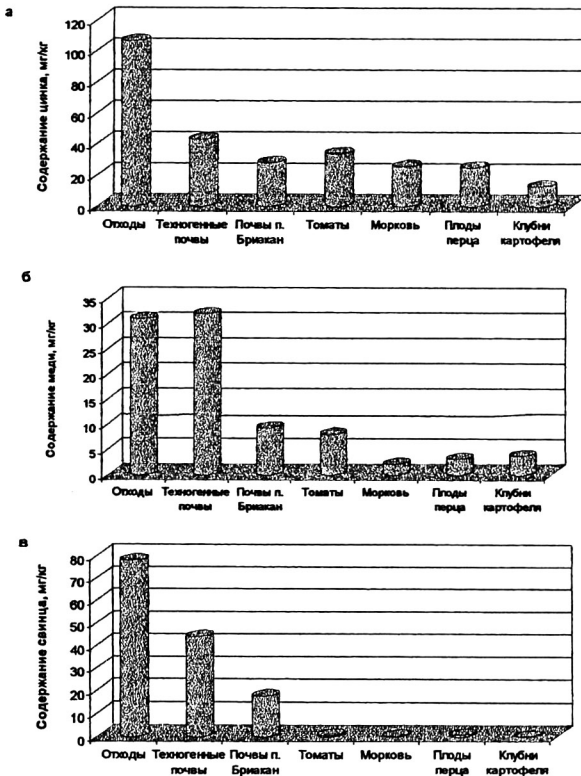


Рис. 13. Содержание цинка (а), меди (б), свинца (в) в отходах, объектах окружающей среды и сельскохозяйственной продукции в зоне влияния ШОУ

Избыточное поступление цинка в организм животных и человека сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, а также нарушением усвоения фосфора, что приводит к развитию остеопороза, а также поражению сердечно-сосудистой системы.

Содержание цинка во всей сельскохозяйственной продукции превышает ПДК (рис.13а, табл.8).

Медь относится к группе жизненно необходимых для организмов элементов. Однако острая интоксикация ионами меди сопровождается выраженным гемолизом эритроцитов, заболеванием бронхиальной астмой. В почвах п. Бриакан и сельскохозяйственной продукции содержание меди невелико, за исключением томатов (рис.13б).

Общее содержание Pb в организме человека (вес которого – 70 кг) составляет 120 мг, в крови – 0,21 мг/л. В среднем за сутки организм человека поглощает 26–42 мкг свинца. Свинец обладает способностью поражать центральную нервную систему, костный мозг и кровь, нарушать синтез белка, генетический аппарат клетки. Коэффициент биологического накопления Pb невысок, несмотря на его значительное содержание в отходах, техногенных почвах и почвах п. Бриакан (рис.13в, табл.9). Содержание Pb в томатах и перцах составляет 0,7 мг/кг и 0,74 мг/кг, соответственно, что незначительно превышает ПДК – 0,5 мг/кг.

Санитарно-демографическая ситуация п. Бриакан характеризуется высоким уровнем общей и младенческой смертности. У взрослого населения преобладают заболевания органов дыхания (54%), мочеполовой (10%), костно-мышечной и пищеварительной систем (9 %) (рис.14). Существенный вклад в заболеваемость может вносить как загрязнение перечисленными выше тяжелыми металлами, так и избыток антагонистов селена – Mn, Cd, Pb, Fe, Hg. Селен повышает сопротивляемость организма к неблагоприятным условиям окружающей среды, вирусам, защищая тем самым от различных заболеваний. Между тем, О.А. Сенькевич (2009) утверждает, что у жителей района им. П. Осипенко наблюдается недостаточная обеспеченность селеном: содержание в сыворотке крови Se составляет 86,7 мкг/л при норме 120 мкг/л.

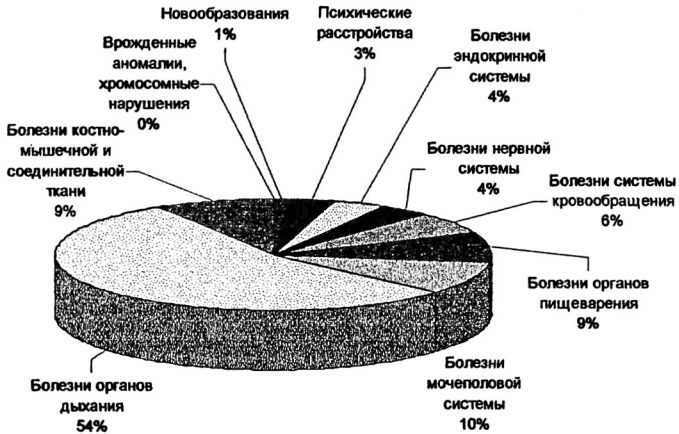


Рис. 14. Заболеваемость населения п. Бриакан (зарегистрировано больных с диагнозом, установленным впервые в жизни, на 100 000 человек населения)

Таким образом, загрязнение ТМ объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции вносит существенный вклад в уровень и структуру заболеваемости населения в зоне влияния ШОУ.

## **Предложения по снижению негативного воздействия отходов горного производства на экосистемы**

Результаты исследований позволили разработать комплекс мероприятий, рекомендуемых для разработки природоохранных проектов, направленных на снижение негативного влияния ТМ на почвенно-растительный покров.

В настоящее время в Хабаровском крае начинается отработка техногенных россыпных месторождений, что способствует активизации ртуты за счет извлечения ранее захороненной и переходу ее в активное состояние. Этот факт необходимо обязательно учитывать при выдаче лицензий на добычу золота из техногенных россыпей. Однако при повышении комплексности освоения полезных ископаемых, демеркуризации отвалов и отходов обогащения, утилизации вскрышных пород повторная отработка может явиться основой экологического оздоровления экосистем.

Растительность ландшафтов – биогеохимический барьер на пути миграции химических элементов, которые, обладая различной биофильностью, по-разному участвуют в биологической аккумуляции тяжелых металлов. Их биологическое поглощение не является важным фактором иммобилизации ввиду незначительной емкости этого процесса. Поэтому необходимо проведение рекультивации природной среды после завершения горных работ, которое является обязательным требованием, определяемым законом РФ «О недрах», «Положением о порядке лицензирования пользования недрами» и ведомственными нормативными актами, согласно которым предприятия должны приводить земли в состояние, пригодное для использования в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Необходимо также организовать постоянный горно-экологический мониторинг состояния объектов окружающей среды в зоне влияния горных предприятий, в т.ч. Кербинского прииска, в условиях усиливающего техногенного давления на них и вести контроль над техногенным загрязнением компонентов экосистем.

С геохимических позиций представляется особо важным создание условий, препятствующих интенсивной миграции химических элементов при выветривании отходов обогащения. В качестве геохимических барьеров могут выступать, например, каолилитовые глины, активно сорбирующие As и Mo, связывающие в нерастворимые формы Pb, Zn, Cu.

Для нейтрализации негативного влияния тяжелых металлов, особенно для кислых и слабокислых техногенных почв, каковыми являются местные почвы, кислотность которых повышается при усилении техногенной нагрузки, необходимо известкование. Это позволяет получить экологически безопасную продукцию растениеводства на техногенно загрязненных территориях. Внесение органических удобрений повышает содержание гумуса в почвах. Органическое вещество обладает высокой способностью удерживать тяжелые металлы. Поэтому концентрация их в растениях выше на почвах с низким содержанием органического вещества. Кроме того, органические коллоиды почвы могут образовывать с тяжелыми металлами стабильные комплексы типа хелатов.

Целесообразно усовершенствовать нормативно-правовую базу, провести медико-биологические исследования с разработкой организационных, гигиенических, токсикологических и клинических мер профилактики.

Для обеспечения экологической безопасности местного населения требуется составление детальных карт, основывающихся на комплексном анализе предложенных выше показателей и критериев. Они необходимы для планирования экологически безопасного ведения горных добычных работ, а также разработки мероприятий по нераспространению существующих очагов ртутного загрязнения.

Учитывая специфические условия проживания местного населения, необходимо организовать информационно-просветительскую работу среди жителей горняцких поселков, повышать их экологическую грамотность. В связи с этим целесообразно введение в школьный курс предмета «Экология» с учетом специфики воздействия на окружающую среду горного производства и привлечением данных исследований по Кербинскому прииску. Необходимо формирование общественного сознания местного населения (экологическая

пропаганда и реклама, образование и воспитание), а также участие общественности в процессе принятия решений, касающихся сохранения биологического разнообразия.

### Выводы

1. Высокое содержание ТМ в отходах ШОУ обуславливает загрязнение экосистем и поступление их в почву, растения и другие живые организмы. В почвах действуют механизмы, приводящие к трансформации техногенных потоков тяжелых металлов. Основными факторами процессов являются свойства почв и природа тяжелых металлов. С увеличением концентрации поллютантов уменьшается рост тест-объектов и снижается уровень микробиологической активности в почвах.

2. Источники загрязнения – отходы обогащения представлены разнообразными минералами, главными из которых – вольфрамит, ильменит, магнетит, гранат, гематит. Второстепенное значение имеют касситерит, арсенопирит, галенит, эпидот, циркон, пироксен. Они являются поставщиками в природную среду тяжелых металлов: W, Zr, As, Sn, Cu, Pb, Zn, Hg, Mn, Ni.

3. Распространение тяжелых металлов в техногенных почвах в определенной степени соответствует «розе ветров». Повышенные концентрации Zn, Mn, Ni наблюдаются на расстоянии 100 м от шлюхообогатительной установки. В западном направлении отмечаются высокие концентрации ТМ на расстоянии 300 м, что обусловлено значительным содержанием органического вещества и рельефом местности. ТМ аккумулируются, главным образом, на глубине 0 – 10 см.

4. В наибольшей степени аккумулируют тяжелые металлы мхи (кукушкин лен (*Polytrichum commune*) и следующие растения: полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), малина сахалинская (*Rubus sachalinensis*), которые могут использоваться как биоиндикаторы. Практически не накапливают ТМ: хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), береза плосколистная (*Betula platyphylla*).

5. Результаты биотестирования показывают, что тяжелые металлы оказывают воздействие на рост и биомассу, всхожесть и энергию прорастания семян горчицы листовой (*Brassica juncea* L.) и лука батун (*Allium fistulosus* L.). Наибольшая всхожесть и энергия прорастания отмечена в вариантах опыта с суммарным показателем загрязнения (Zc) до 20. Более высокие значения Zc оказывают ингибирующее действие. Техногенные почвы в зоне влияния ШОУ характеризуются низкой биогенностью. Бактериальный комплекс находится в угнетенном состоянии. Структура и функционирование микробоценозов нарушены.

6. Концентрация Zn и Pb в отходах ШОУ в 2,5 раза больше, чем в техногенных почвах и в 4 раза больше, чем в сельскохозяйственных почвах. Содержание Cu в отходах и техногенных почвах в 3 раза выше, чем в почвах селитебной зоны. Суммарный показатель загрязнения подвижными формами Pb, Cu, Zn в селитебной зоне соответствует допустимой категории загрязнения почв. Количество Cu превышает ПДК в томатах, Pb – в томатах, плодах перца, Zn – во всех исследованных видах сельскохозяйственной продукции (томатах, плодах перца, моркови, клубнях картофеля). Загрязнение объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции способствует возникновению экологически обусловленных заболеваний населения, например, органов дыхания (54%), мочеполовой (10%), костно-мышечной и пищеварительной систем (9%).

7. В зонах влияния ШОУ целесообразно проведение рекультивации с использованием приемов фиторемедиации для снижения негативного воздействия на компоненты экосистем и здоровье населения горняцких поселков.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации**

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах

1. Мирошниченко Е.В., Бондаренко Е.И., Крупская Л.Т., Чумаченко Е.А. Эколого-экономическая оценка воздействия горнопромышленных отходов на экосистемы Хабаровского края // Горный журнал. 2006. № 9. С. 77 – 78.
2. Чумаченко Е.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами экосистем районов золотодобычи (на примере Кербинского прииска) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 9. С. 339 – 346.
3. Растинина Н.К., Чумаченко Е.А., Крупская Л.Т. К вопросу изучения трансформации экосистем под воздействием горного производства на юге Дальнего Востока (на примере Херпучинского прииска) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 8. С. 301 – 304.
4. Чумаченко Е.А., Крупская Л.Т. К вопросу обеспечения экологической безопасности процессов освоения техногенных золотороссышных месторождений (на примере Кербинского прииска) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 3. С. 196 – 203.

Работы, опубликованные в материалах международных и всероссийских научных конференций

5. Крупская Л.Т., Чумаченко Е.А., Бондаренко Е.И., Мирошниченко Е.В., Ершов М.А., Биткина Т.А. Отходы горного производства как основной источник загрязнения экосистем на юге Дальнего Востока // Проблемы экологии, рационального природопользования и безопасности жизнедеятельности: юбил. сборник студ. работ, посвященный 30-летию кафедры «Экологии и БЖД» Дальневост. лесотехн. инст-та. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2005. С. 10 – 17.
6. Чумаченко Е.А. К вопросу эколого-геохимической оценки района золотодобычи на примере Кербинского прииска // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 3 международной научной школы молодых ученых и специалистов. 27-30 ноября 2006 г. М.: ИГКОН РАН, 2006. С. 268 – 270.
7. Чумаченко Е.А. К вопросу сохранности экосистем в зоне влияния золотодобычи (на примере Кербинского прииска) // Молодые исследователи регионам: Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. В 2-х т. Вологда: ВоГТУ, 2007. Т.1. С. 72 – 73.
8. Чумаченко Е.А., Растинина Н.К., Леоненко А.В. Оценка техногенного ртутного загрязнения экосистем в процессе золотодобычи и методы их защиты // Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития. Десятая международная экологическая конференция студентов и молодых ученых. Москва, МГТУ, 2006 г. Т. 2. Смоленск, Ойкумена, 2006. С. 56 – 58.
9. Чумаченко Е.А. Экологические аспекты освоения техногенных месторождений золота Хабаровского края (на примере Кербинского прииска) // Молодые исследователи регионам: Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. В 2-х т. Вологда: ВоГТУ, 2008. Т.1. С. 40 – 41.

10 —

Чумаченко Екатерина Анатольевна

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА  
ОТХОДАМИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ КЕРБИНСКОГО ПРИЙСКА)**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата биологических наук**

---

Подписано в печать 07.09.09. Формат 60x84 1/16.  
Бумага писчая. Гарнитура «Times New Roman». Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,33.  
Тираж 100 экз. Заказ 240.

Отдел оперативной полиграфии издательства  
Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.