

На правах рукописи



Азарова Светлана Валерьевна

**ОТХОДЫ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИХ ОПАСНОСТИ  
ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ  
РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск 2005

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук, доцент  
Язиков Егор Григорьевич.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Мананков Анатолий Васильевич

кандидат геолого-минералогических наук, доцент  
Макаренко Николай Андреевич

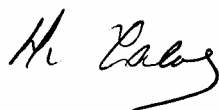
Ведущая организация: ГУП ТЦ «Томскгеомониторинг»

Защита состоится 16 февраля 2005 года в 14:30 на заседании диссертационного совета  
К 212.267.07 при Томском государственном университете по адресу: 634050 г.Томск,  
пр. Ленина, 36, главный корпус, ауд.119.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского  
государственного университета.

Автореферат разослан «14» января 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Н.И. Савина

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Горно-добывающая промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Тысячи предприятий в мире ежегодно перерабатывают более 35 млрд м<sup>3</sup> горнорудной массы. Однако современные технологии позволяют использовать лишь небольшую часть извлекаемой массы пород, а все остальное накапливается в виде отходов, рассеиваемых природными миграционными процессами и являющихся источниками загрязнения природной среды. За два столетия интенсивного развития горно-добывающей промышленности в ряде регионов России накопились гигантские объемы техногенных образований в виде отвалов пустых пород, некондиционных руд, материалов хвосто- и шламохранилищ.

Вопрос воздействия на окружающую среду постоянно увеличивающихся в объемах техногенных массивов стал подниматься очень давно. Наиболее детально он представлен в трудах А.М. Гальперина и др. (1997), А.В. Мананкова и В.П. Парначева (1999), М.А. Пашкевич (2000), В.Е. Лотоша (1996, 2001), В.Т. Трофимова и др. (2002).

Одной из ведущих отраслей Республики Хакасия является горно-добывающая промышленность, в которой ведется отработка угольных, железорудных, золоторудных и других месторождений полезных ископаемых, что создает определенные геоэкологические проблемы для территории. Проведенная неполная инвентаризация объектов размещения отвалов и отходов горно-добывающих предприятий показала, что масса вскрышных и отвальных пород, хвостов обогатительных фабрик составляет более 1 млрд т, площади размещения которых занимают более 3 тыс. га (Худяков и др., 2001).

Современные методические рекомендации оценки опасности отходов (Саега и др., 1986; Временный ..., 1987; Голева, 1997, 1999; Экологическая ..., 2001; Критерии ..., 2001) ориентированы на определение степени опасности с учетом расчетных геохимических характеристик. Работа Ю.Е. Саега и др. (1986) направлена на выявление источников и оценку воздействия геологоразведочных работ и последующей добычи и переработки руд. В разработке сотрудников ВИМСа (Голева, 1997, 1999, 2001) сделан упор на экологическую оценку рудных месторождений на базе их вещественного состава по видам и индикаторам потенциальной токсичности, а также на основе минералого-геохимических исследований форм нахождения токсичных веществ в природных и техногенных аномалиях.

В последнее время большое внимание уделяется исследованиям биологического действия различных поллютантов. Для этого используется большое число всевозможных тест-объектов – от бактерий до млекопитающих (Рапопорт, 1980; Лежнев, 1983; Исаев, 1999; Бутовский, 1999; Шеховцова, 2000; Жмур, 2001 и др.). В числе загрязнителей – разные виды отходов (Прядко, 1992; Чубик, 2000 и др.).

**Цель работы.** Изучить особенности состава отходов угольной, железорудной и камнеобрабатывающей промышленности предприятий Республики Хакасия и

оценить степень их воздействия на почву. Провести комплексную оценку опасности отходов для окружающей среды на основе результатов расчетных методов, геохимического анализа и методов биотестирования.

**В задачи работы** входило:

- 1) изучение геохимического состава отходов предприятий: АООТ «Тейское рудоуправление», ОАО «Угольный разрез Чалпан», ОАО «Саянмрамор»;
- 2) оценка воздействия отвалов предприятий на почвы в различных ландшафтных условиях;
- 3) расчет индексов токсичности и степеней опасности отходов предприятий;
- 4) изучение токсичности отходов предприятий методами биотестирования на основе подвижных форм элементов;
- 5) апробирование в качестве тест-объекта мушки *Drosophila melanogaster* для отходов предприятий с учетом валовых содержаний элементов;
- 6) проведение комплексной оценки опасности отходов для окружающей среды.

**Исходный материал и методы исследований.** В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводившихся автором совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета в период 1999-2004 гг. на территории Республики Хакасия.

В основу были положены результаты 751 анализа 96 проб, включающих материал пород отвалов, хвостохранилищ, шламоотстойников, золошлаков, почв и твердого осадка снега. В процессе исследования проб выполнено количественное определение элементов атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой; атомно-абсорбционным с электротермической атомизацией; атомно-абсорбционным «холодного пара»; потенциометрическим; многоэлементным инструментальным нейтронно-активационным и гамма-спектрометрическим анализами; изучение минерально-вещественного состава рентгенофазовым методом, а также определение биологического влияния проб методами биотестирования. В процессе выполнения эксперимента по биотестированию с использованием *Drosophila melanogaster* всего было изучено 33 805 мух в 38 пробах разных видов отходов. Все аналитические исследования проведены в аттестованных и аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга, Новосибирска, Абакана и Томска.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- дана полная детальная геохимическая характеристика отходов для объектов угольной, железорудной и камнеобрабатывающей промышленности Республики Хакасия;
- проведена оценка воздействия отвалов предприятий на почвы в различных ландшафтных условиях;
- рассчитаны индексы токсичности и степени опасности отходов; выполнено биотестирование проб для подвижных форм элементов;

- впервые апробирована в качестве тест-объекта для определения опасности отходов горно-добывающей промышленности мушка *Drosophila melanogaster*;
- проведена комплексная оценка опасности отходов для окружающей среды.

**Практическая значимость работы.** Материалы детальных геохимических исследований послужили основой для проведения расчетов токсичности отходов предприятий ОАО «Саянмрамор», АООТ «Тейское рудоуправление» и ОАО «Угольный разрез Чалпан», а также для сертификации продукции и попутного сырья. По результатам исследований на предприятии ОАО «Саянмрамор» сменил шлиф-порошок для обработки камня, что позволило перейти на более чистую технологию. Породы отвала № 2 «чистый» и материал шламоотстойника №1 рекомендованы для использования в качестве изолирующего инертного материала на полигонах складирования городских бытовых отходов. В рекультивируемом слое почв отвала угольного разреза Чалпан установлены высокие концентрации элементов различных классов опасности, что не позволяет использовать данную площадь для сельскохозяйственного назначения. На Тейском руднике в промпродукте установлены повышенные концентрации золота и палладия, в шламе – золота и платины, что представляет определенный интерес при возможном попутном извлечении данных элементов.

Результаты исследований представлены в отделы охраны окружающей среды предприятий ОАО «Саянмрамор», АООТ «Тейское рудоуправление» и ОАО «Угольный разрез Чалпан», а также в Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР по Республике Хакасия для принятия природоохранных мероприятий.

Результаты работы внедрены в ФГУП «Берег», г. Абакан Республики Хакасия.

Материалы диссертационной работы включены в курсы лекций «Экология геологоразведочных работ», «Техногенные системы и экологический риск», а также задействованы в составлении практических и лабораторных занятий по этим курсам для студентов специальности 013600 «Геоэкология» кафедры геоэкологии и геохимии Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета.

#### **Защищаемые положения:**

1. Отходы производства объектов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия, характеризующиеся специфическим геохимическим составом, оказывают воздействие на почвы в различных ландшафтных условиях.
2. Существующие методы биотестирования с использованием рачка *Daphnia magna* и инфузории *Paramecium caudatum* согласно методическим рекомендациям характеризуют токсичность только водорастворимых соединений отходов предприятий. Применение в качестве тест-объекта мушки *Drosophila melanogaster* позволило выявить токсичность твердой фазы отходов предприятий с учетом комплекса биологических параметров.

3. Комплексная оценка опасности отходов предприятий на основе результатов расчетных методов, геохимического анализа и методов биотестирования позволяет получать наиболее полную объективную информацию о воздействии на окружающую среду.

**Апробация работы.** Результаты исследований, полученные автором, докладывались на научных форумах различного уровня: V, VI, VII, VIII Международных научных симпозиумах студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2001, 2002, 2003, 2004), VI и VII Международных экологических студенческих конференциях «Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ» (Новосибирск, 2001, 2002), Южно-Сибирской международной научной конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири» (Абакан, 2003), IV и V межвузовских молодежных научных конференциях (международных) «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (Санкт-Петербург, 2003, 2004). По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 4 в центральной печати. Автор участвовала в выполнении 3 хоздоговорных тем и 2 грантов по теме исследований, в т.ч. гранта Министерства образования РФ № А03-2.13-765.

**Объем и содержание работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения. Общий объем 235 страниц, включая 61 таблицу, 102 рисунка и список литературы из 165 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы и проведенного исследования. Определены цели и задачи диссертационной работы, изложены основные результаты, обозначен вклад автора в исследования по данной теме, отражена научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** отражено современное состояние и степень изученности вопроса по проблеме накопления и экологической опасности отходов горнодобывающей промышленности.

**Во второй главе** приводится описание основных методов исследования и видов анализов.

**Третья глава** посвящена природно-климатической, геологической и геоэкологической характеристике изучаемой территории исследуемых объектов.

**В четвертой главе** приводится количественная оценка отвалных хозяйств предприятий, минералого-петрографическая характеристика, а также эколого-геохимическая оценка отходов производства.

**В пятой главе** представлены результаты биотестирования исследуемых материалов с помощью следующих тест-объектов: рачков *Daphnia magna*, инфузорий *Paramecium caudatum*, мушек *Drosophila melanogaster* и культуры клеток крови человека.

**Шестая глава** представляет собой комплексную оценку экологической опасности отходов изучаемых объектов для окружающей среды.

**В заключении** подведены итоги исследований, сформулированы основные выводы и рекомендации.

Автор выражает особую благодарность научному руководителю доценту, к.г.-м.н. Е.Г. Языкову и научному консультанту профессору, д.г.-м.н. Л.П. Рихванову за внимание, ценные советы и помощь при выполнении работы, а также глубокую признательность профессору, д.м.н. Н.Н. Ильинских, доцентам к.м.н. А.А. Михальчуку и к.х.н. Е.Г. Пашневой, ассистентам Н.А. Новиковой и Е.С. Андреевой за плодотворную работу и полезные консультации по статистике, почвоведению и методу биотестирования на *Drosophila melanogaster*.

Искреннюю благодарность автор приносит сотрудникам кафедры геоэкологии и геохимии к.г.-м.н. С.И. Арбузову, к.г.-м.н. В.А. Домаренко, к.г.-м.н. А.А. Поцелуеву, к.б.н. Н.В. Барановской, к.г.-м.н. А.Ю. Шатилову, к.г.-м.н. И.С. Соболеву, к.г.-м.н. А.В. Волостнову, В.С. Барановскому, Р.Ю. Гаврилову, Г.А. Бабченко, с.н.с. А.Ф. Судыко, инженеру Л.В. Богутской за ценные советы, выполнение аналитики и помощь при написании и оформлении работы, а также сотрудникам кафедры бурения асс. Л.Н. Нечаевой, кафедры топлива к.т.н. С.Г. Маслову Томского политехнического университета, сотрудникам гидрогеохимической лаборатории ГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» Т.Д. Кириленко, Н.И. Мазуриной и лаборатории радиационного контроля ОГУ «Облкомприрода» Ю.Г. Зубкову и Ю.А. Громову за помощь при выполнении анализов. Автор также особо благодарен руководству и сотрудникам предприятий ОАО «Саянмрамор», АООТ «Тейское рудоуправление», ОАО «Угольный разрез Чалпан» и Управления природных ресурсов и охране окружающей среды МПР по Республике Хакасия за помощь и содействие в выполнении работ.

### **Основные защищаемые положения**

**1. Отходы производства объектов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия, характеризующиеся специфическим геохимическим составом, оказывают воздействие на почвы в различных ландшафтных условиях.**

На территории Тейского железорудного месторождения сформированы четыре отвала вскрышных пород общим объемом 150179,2 тыс. м<sup>3</sup>, занимающие площадь 241,2 га, а также хвостохранилище, шламоотстойник, золоотвал и золоотстойник (табл.1).

Минералого-петрографический состав отвалов Тейского железорудного месторождения достаточно разнообразен (рис.1).

Содержание многих компонентов в породах отвалов находится в концентрациях ниже ПДК, ОДК и фона для бурых почв горно-таежного ландшафта,

Результаты инвентаризации объектов размещения отходов  
АООТ «Тейское рудоуправление»

Объект размещения отходов	Площадь отходов, га	Объем, тыс.м <sup>3</sup>
Отвалы вскрышных пород	«Северный»	14
	«Южный»	205
	«Южный-1»	11,1
	«Южный-2»	11,1
Отходы обогащения (хвосты)	19,1	12331,9
Шламы	0,4	1,71
Золошлаки:	золоотвала	0,9
	золоотстойника	0,5

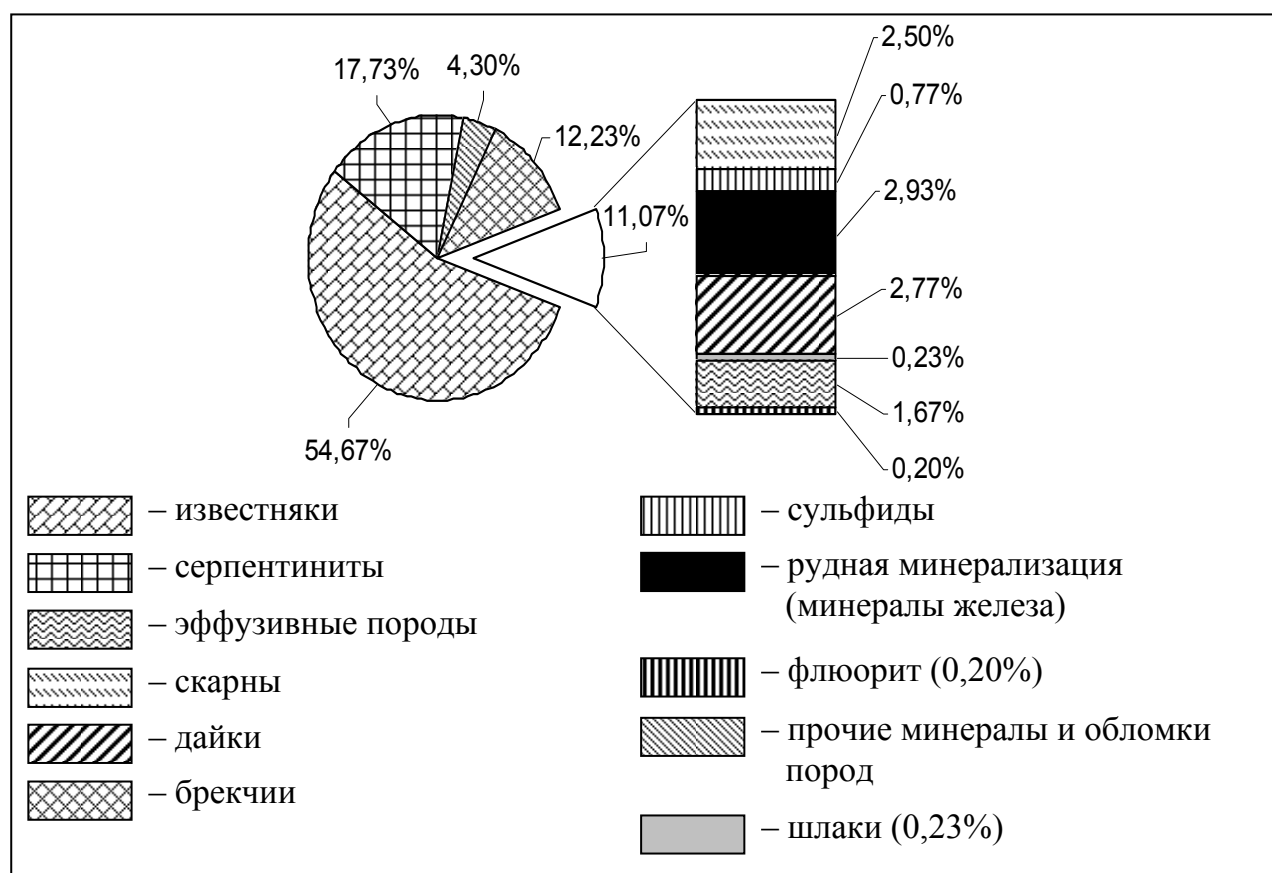


Рис.1. Обобщенный минералого-петрографический состав пород отвала «Северный»

однако ряд элементов представляет особый интерес (табл. 2). Для почв отвала «Северный» в горизонте А наблюдаются повышенные концентрации As относительно ПДК, а Cr и Cu – фона для почв. В зоне влияния отвала «Южный» в почвах зафиксированы повышенные концентрации As, Zn, Ni и Cu. Учитывая специфику геохимического спектра в породах отвалов «Южный-1» и «Южный-2», можно констатировать, что наблюдается незначительное перераспределение As, Zn, Ni и Cu в почвах. Материал шлама хвостохранилища характеризуется повышенным содержанием относительно ПДК: As, F (водная форма), Cr и Cu (подвижные формы



из буферных растворов); Cd, Co, Ni и Mo – фоновых величин для бурых почв, В и U – кларка в земной коре. В зоне влияния хвостохранилища в почвах фиксируются повышенные концентрации As, Ni и Cu. Материал шлама отстойника характеризуется повышенными концентрациями As, V, F (водная подвижная форма), Ni, Cu, Co, Cr, В и U относительно нормативных показателей. В золошлаковых отходах отмечаются повышенные концентрации As, Cr, Cu, В, Sr и U. В почвах, находящихся в зоне влияния золошлаковых отходов, наблюдается перераспределение As, Ni и Cu. В качестве примера на рис. 2-5 представлено содержание As и Cr, Co и Ni в фоновой пробе, в отвале и почвах близ отвалов «Северный» и «Южный» Тейского железорудного месторождения соответственно.

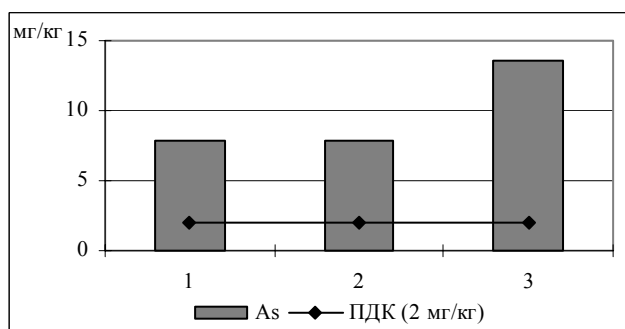


Рис.2. Диаграмма содержания As в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2) и почве (3) близ отвала «Северный» АООТ «Тейское рудоуправление»

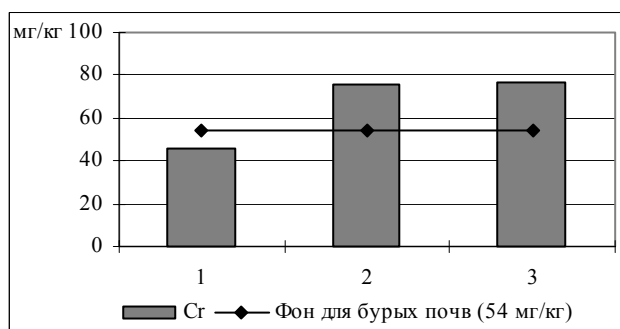


Рис.3. Диаграмма содержания Cr в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2) и почве (3) близ отвала «Северный» АООТ «Тейское рудоуправление»

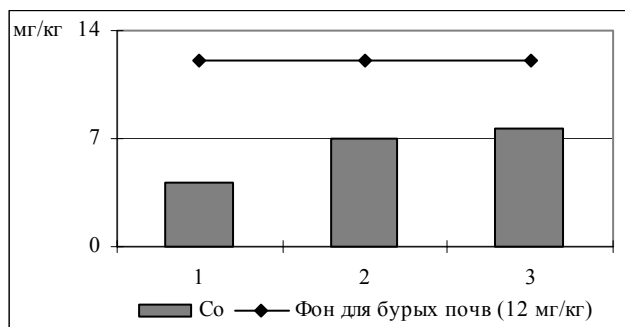


Рис.4. Диаграмма распределения Co в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2) и почве (3) близ отвала «Южный» АООТ «Тейское рудоуправление»

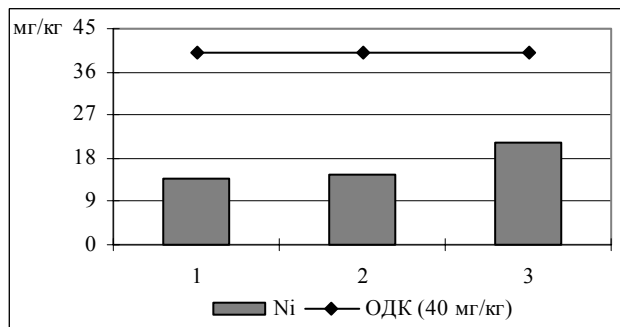


Рис.5. Диаграмма содержания Ni в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2) и почве (3) близ отвала «Южный» АООТ «Тейское рудоуправление»

Отходы производства ОАО «Саянмрамор» представлены отвалами вскрышных пород и материалом шламоотстойников (табл. 3).

Преимущественное количество химических элементов в отходах производства изучаемого объекта содержится в концентрациях ниже нормативных показателей (см. табл. 2).

Таблица 2

## Содержание химических элементов (мг/кг) в породах отвалов

Элементы	АООТ «Тейское рудоуправление»				ОАО «Саянмрамор»				ОАО «Угольный разрез Чалпан»	ПДК (ОДК) для почв	Фон для бурых (каштановых) почв	Кларк в земной коре*
	отвалы											
	Северный	Южный	Южный-1	Южный-2	№ 1 грязный	№ 2 чистый	№ 1 гранитный	№ 2 гранитный	внешний			
As	7,9	17,3	3,8	18,6	7,8	1,1	1,12	10,2	13,5	2 (5)		1,7
Cd	0,3	0,21	0,29	0,28	0,3	0,2	0,13	0,12	0,31	(1)	0,25	0,13
Hg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,068	0,103	2,1		0,083
Se	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,15	1,9	0,5	0,63	0,5	1,8			0,05
Pb	43,6	7,3	4,2	3,1	2,8	0,5	3,3	3,5	7,5	32 (65)	23 (30)	16
Zn	382,9	41,8	21,5	35,5	91	13,3	511,7	64,6	88,5	(110)	52 (70)	83
F <sub>в</sub>	4,38	3,0	2,4	2,5	3,3	1	4,1	5,4	7,6	10		
B	54,3	86,4	70,8	60,7	34,6	1	15,3	46,9	59,9			12
Co	3,2	7	4,6	9,9	14,3	0,9	4,1	68	8,1		12 (25)	18
Ni	16,7	14,4	8,6	9,1	41,7	3,5	31,5	51,3	35,38	(40)	14 (58)	58
Mo	2	2,3	2	2	1,2	2	1,7	2,5	2		2 (1,7)	1,1
Sb	6,6	н.о.	1,8	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	4,7	4,5		0,5
Cr	75,9	35,7	25,5	59	144	19,8	186	297	52,3		54 (120)	83
Cu	874,4	392,3	31,2	168	33,4	8,1	13,1	25	65,8	(66)	13 (28)	47
Ba	24,6	49,8	125	106,6	103,2	31,5	189	204	113			650
V	53,3	50	50	66	120	57	66	51	91,7	150	80 (120)	90
W	20	н.о.	н.о.	н.о.	30	н.о.	30	н.о.				1,3
Mn	448	674	425	558	587	102,8	416	64,6	370	1500	(800)	1000
Sr	98,1	121,7	134	82,95	132,7	267	143	221,5	49			340
U	5,8	7,4	4,8	н.о.	10	5,3	4,3	6	6,8			2,5
Th	3,2	1,3	2,6	1,8	10	0,5	19	14	4,2			13
Th/U	0,6	0,2	0,5		1	0,1	4,4	2,3	0,62			5,2

Примечание: F<sub>в</sub> – вытяжка водным раствором, н.о. – элемент не определен, \* – кларк в земной коре принят по А.П.Виноградову (1962).

## Результаты инвентаризации объектов размещения отходов ОАО «Саянмрамор»

Объект размещения отходов		Площадь отходов, га	Объем, м <sup>3</sup>
Отвалы вскрышных пород	№ 1 «грязный»	11	597800
	№ 2 «чистый»	16	1031100
	№ 1 (гранитный)	2,06	681700
	№ 2 (гранитный)	0,94	340100
Шламоотстойник № 1		0,9038	30000
Шламоотстойник № 2		0,112	30000

Относительно пород отвалов в почвах наблюдается перераспределение As, Ni и Zn. В материале шламоотстойника № 1 отмечаются повышенные концентрации Se, В и U. Среди подвижных форм элементов фиксируется превышение ПДК по Cr в 70,1 раза (извлеченный буферным раствором), который попадает в материал в процессе технологической обработки камня. В ходе выполнения научно-исследовательских работ было сделано заключение о поступлении избыточного количества Cr со шлиф-порошком, который в последующем был заменен. В настоящее время используется новая технология обработки камня, что существенно сказалось на содержании загрязняющих компонентов в шламе, так, концентрация Cr уменьшилась с 420,8 мг/кг до 53,2 мг/кг. В золошлаковых отходах фиксируются повышенные концентрации As, Cr и U, а также подвижных форм элементов относительно ПДК по Cr в 12,1 раза и Cu в 1,1 раза (извлечение буферным раствором). Для примера приведено поведение мышьяка в отвалах и почвах близ отвалов ОАО «Саянмрамор» (рис.6–7).

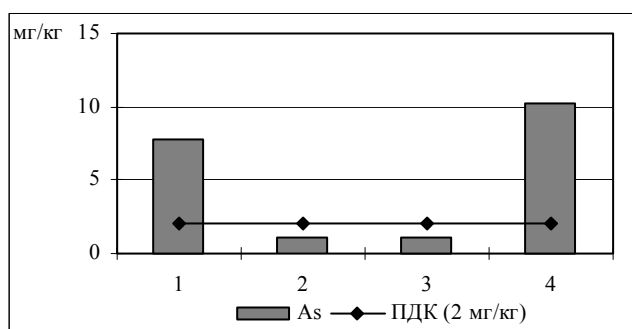


Рис.6. Диаграмма содержания As в породах отвалов: № 1 «грязный» (1), № 2 «чистый» (2), № 1 «гранитный» (3) и № 2 «гранитный» (4) ОАО «Саянмрамор»

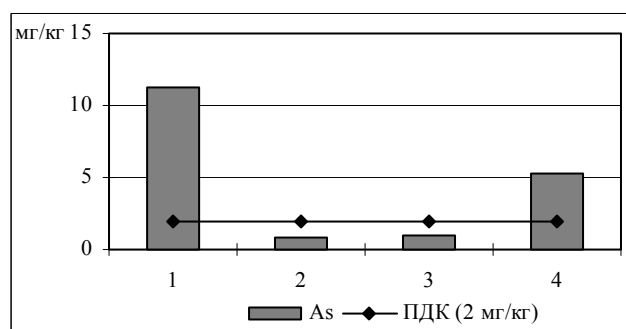


Рис.7. Диаграмма содержания As в почвах близ отвала № 1 «грязный» (1), отвала № 2 «чистый» (2), № 1 «гранитный» (3) и отвала № 2 «гранитный» (4) ОАО «Саянмрамор»

Источниками образования отходов на предприятии угольного разреза Чалпан являются добычной разрез и промышленно-отопительная котельная, которые находятся в степной ландшафтной зоне. Внешний отвал вскрышных пород занимает территорию в 7,9 га, а золоотвал расположен на промышленной площадке размером 40 × 40 метров с небольшим количеством отходов. Геохимическая характеристика отходов представлена в табл. 2.

Сравнительная геохимическая характеристика предмета исследования приведена на рис. 8–9. В обобщенной выборке почв в горизонте А наблюдаются повышенные концентрации As по сравнению с ПДК и V по сравнению с фоном для каштановых почв. Учитывая распределение компонентов по почвенным горизонтам А – АВ – ВС – CD, следует выделить горизонт АВ (горизонт вмывания), где происходит аккумуляция техногенных компонентов Zn, В, Ni, Cr, Cu, Ba и Mn. Наряду с этим отмечается природная обогащенность почвообразующего горизонта CD следующими элементами – As, V и Sr. Кроме того, в почвах рекультивированного участка отмечаются повышенные концентрации Cd, Hg, Zn, F, B, Ni, Cu, Ba, Mn и Sr.

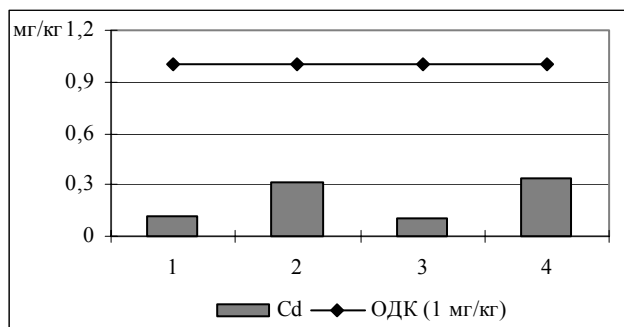


Рис.8. Диаграмма распределения Cd в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2), почве (3) и рекультивированном участке отвала (4) ОАО «Угольный разрез Чалпан»

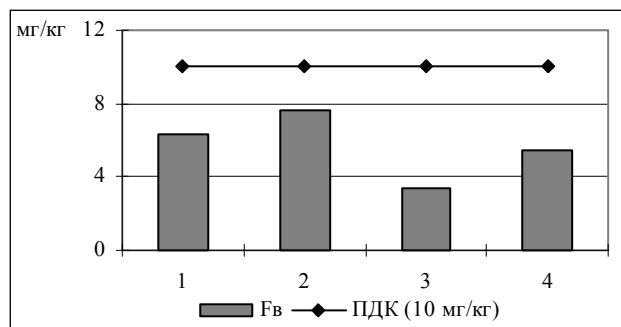


Рис.9. Диаграмма распределения Fv в почве (фоновая точка) (1), породах отвала (2), почве (3) и рекультивированном участке отвала (4) ОАО «Угольный разрез Чалпан»

**2. Существующие методы биотестирования с использованием рачка *Daphnia magna* и инфузории *Paramecium caudatum* согласно методическим рекомендациям характеризуют токсичность только водорастворимых соединений отходов предприятий. Применение в качестве тест-объекта мушки *Drosophila melanogaster* позволило выявить токсичность твердой фазы отходов предприятий с учетом комплекса биологических параметров.**

Огромную роль в определении биологического влияния играют методы биотестирования. Учитывая количественный и качественный потенциал разнообразных методов, опыт многих исследователей (Рапопорт, 1966; Лежачус, 1983; Дубинин, 1986; Жмур, 1997; Евгеньев и др., 1999 и др.), а также отсутствие универсального тест-объекта, одинаково чувствительного ко всем поллютантам, для оценки токсичности отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия была выбрана группа тест-объектов: рачки *Daphnia magna* (рис. 10) и инфузории *Paramecium caudatum* (рис. 11), мушки *Drosophila melanogaster* (рис. 12) и культура клеток крови человека (цитогенетический анализ) (рис. 13).

По результатам биотестирования с использованием в качестве тест-объекта рачков *Daphnia magna* материал отходов горно-добывающей промышленности не обладает острой токсичностью; с использованием инфузориий *Paramecium caudatum* – для проб Тейского железорудного месторождения 4 характеризуются допустимой

степенью токсичности и 2 умеренной, для ОАО «Саянмрамор» – 2 допустимой и 3 умеренной, а для угольного разреза Чалпан – 1 и 3 соответственно.



Рис.10. *Daphnia magna* как тест-объект (Жмур, 2001)

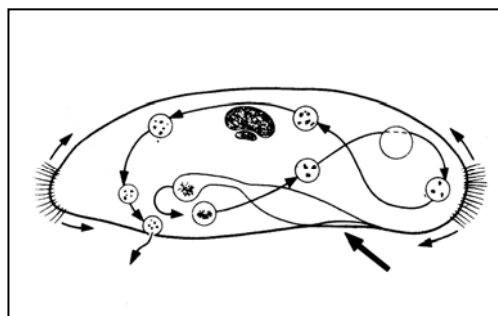


Рис.11. *Paramecium caudatum* как тест-объект (Грин, 1996)



Рис.12. *Drosophila melanogaster* как тест-объект

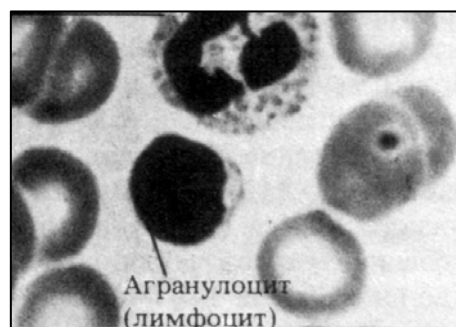


Рис.13. Клетки крови человека как тест-объект (Грин, 1996)

*Drosophila melanogaster* в связи с наибольшей изученностью по сравнению с другими живыми объектами на сегодняшний день является оптимальным тест-объектом. В медицине долгое время применяется методика биотестирования на дрозофилах (Медведев, 1968; Методические..., 1998; Леонидов и др. ..., 1999). Автором впервые применяется данная методика для оценки токсичности отходов горно-добывающей промышленности.

Для постановки эксперимента были взяты линии дрозофил *yellow (y)* и *singed (sn)*. У *yellow* желтое тело и прямые щетинки, у *singed* тело серого цвета и опаленные щетинки. В пробирках с готовым кормом для размножения оставляли в течение 24 ч 2 самок и 1 самца. Контрольные и опытные группы формировали одновременно и идентично. В дальнейшем следили за развитием нового поколения. Биотестирование проводилось при разных концентрациях исходного материала в среде (20% и 0,2%). В процессе выполнения эксперимента всего было изучено 33 805 мух в 38 пробах разных видов отходов (7 838 самок и 7 713 самцов в контроле, 10 343 самок и 7 911 самцов в опыте).

Основной упор при определении воздействия отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия на мушках сделан применительно к следующим показателям: 1) соотношение полов; 2) морфозы (рис. 14–15). Данные параметры обработаны с помощью статистического аппарата (критерий соответствия  $\chi^2$  и U-

критерий Лапласа), который используется в медицинских исследованиях (Глотов, 1982; Лакин, 1990; Беленький, 1963; Левина, 1993 и др.). Почти для всех проб результаты статистических методов подтверждают, что если различия значимы, то как по  $\chi^2$ , так и по U-критерию Лапласа, и наоборот (рис.16). Подобные операции проводились и для параметра наличия морфозов. Кроме вышеуказанных параметров, в качестве дополнительной информации оценивались высота подъема куколок и сроки развития.

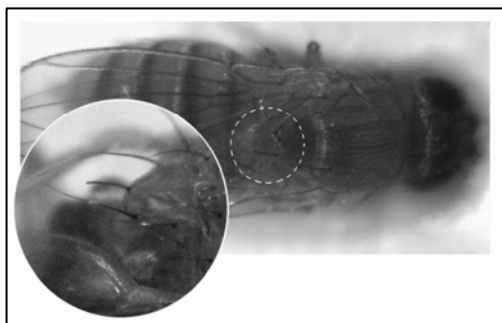


Рис.14. Морфозы: короткая щетинка

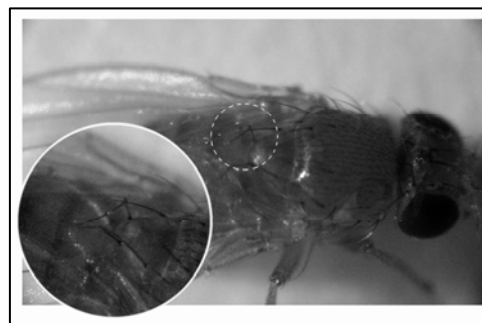


Рис. 15. Морфозы: загнутая щетинка

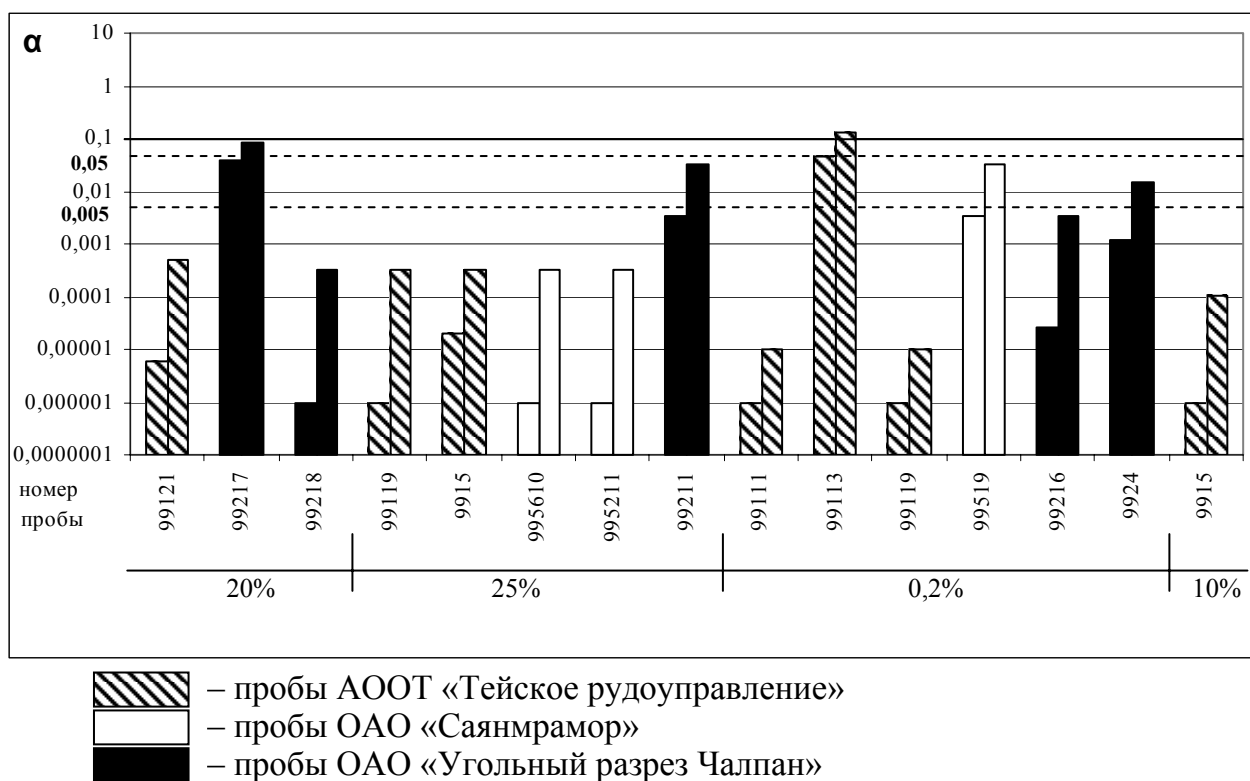


Рис. 16. Диаграмма распределения величин уровня значимости для параметра «соотношение полов» при разных концентрациях пробы в среде (первый столбец в каждой пробе – расчет по  $\chi^2$ , второй – по  $U_{набл}$ ; уровни значимости:  $< 0,005$  – высокозначимый,  $0,005-0,05$  – статистически значимый,  $0,05-0,1$  – слабозначимый,  $> 0,1$  – незначимый)

Проведенная статистическая обработка позволила выделить три однородные выборки, внутри которых возможно сравнение степеней влияния проб. Далее представлены результаты самой большой выборки (26 проб из 38). Об интенсивности

влияния изучаемых проб можно сказать следующее: наименьшее воздействие оказывают породы отвала «Северный» (проба №99113) Тейского железорудного месторождения, далее по увеличению воздействия – породы отвала (пробы № 99217, 99211) угольного разреза Чалпан, мраморная крошка (№99519) ОАО «Саянмрамор», золошлаковые отходы (№9924) и породы отвала (№99216) угольного разреза, а также материал хвостохранилища (№99121) железорудного месторождения. Затем материал шламоотстойника (№9915), почва рекультивируемой части отвала (№ 99218) угольного разреза Чалпан, породы отвала «Южный» (№99119), почва между отвалами №1 и №2 гранитными (№995610), а также породы отвала №1 «гранитный» ОАО «Саянмрамор» (№995211) (20-25%) разных месторождений с одинаково высокой степенью, материал шламоотстойника (№9915) (10%). Далее породы отвала «Северный» (№99111) и «Южный» (№99119) (0,2%) Тейского железорудного месторождения с наибольшей одинаковой для данных проб степенью влияния относительно остальных. Остальные пробы токсического действия не оказывают.

Проведенная статистическая обработка для параметра наличия морфоз, подобно соотношению полов, показала кроме наличия или отсутствия биологического влияния результаты по интенсивности в выборке, представленной на рис. 17.

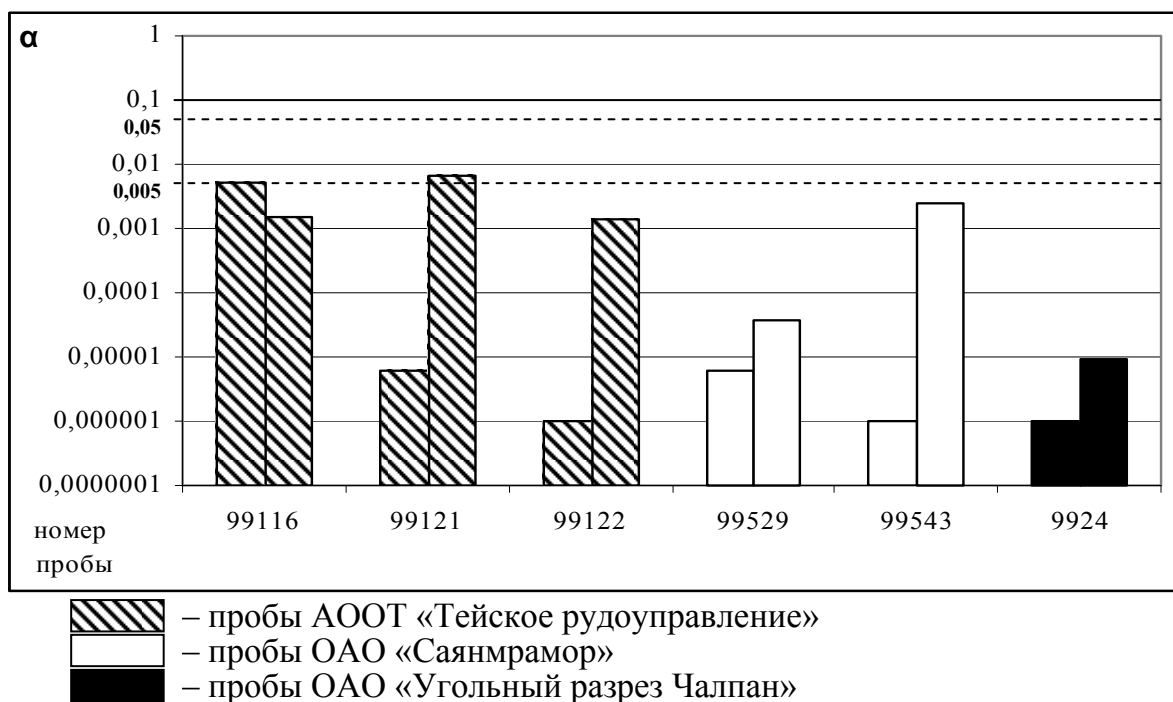


Рис. 17. Диаграмма распределения величин уровня значимости для параметра «наличие морфозов» при 0,2 % концентрации пробы в среде (первый столбец в каждой пробе – расчет по  $\chi^2$ , второй – по  $U_{\text{набл.}}$ ; уровни значимости: < 0,005 – высокосignificant, 0,005-0,05 – статистически значимый, 0,05-0,1 – слабосignificant, > 0,1 – незначимый)

Наибольшая степень влияния характерна для золошлаковых отходов (проба №9924), наименьшая – для пород отвала «Южный-1» (№99116). Затем материал

хвостохранилища (№99121), что подтверждается параметром соотношения полов. Далее по убыванию – материал хвостохранилища (№99122) Тейского железорудного месторождения, золошлаковые отходы (№99543) и материал шламоотстойника (№99529) ОАО «Саянмрамор». Различия между значениями  $\alpha \chi^2_m$  и  $\alpha U_{м\text{набл}}$  связаны с особенностями статистических методов.

По результатам корреляционного анализа отмечается заметное различие между биологическими показателями при разных концентрациях исследуемой пробы в питательной среде мух. Цинк снижает количество потомков и отодвигает срок окукливания. Это позволяет говорить о его самостоятельном токсическом или генотоксическом действии в составе проб. На наш взгляд, это самый сильный из выявленных в данном исследовании эффектов, так как уменьшение числа потомков наиболее значимый показатель, обладающий суммарным эффектом.

Для обработки результатов цитогенетического анализа на культурах клеток крови человека был введен показатель изменчивости  $K$  для изучаемых клеток. Этот показатель фиксирует, насколько полученная величина того или иного параметра больше значения в контрольной пробе. Результаты представлены в виде диаграммы (рис.18).

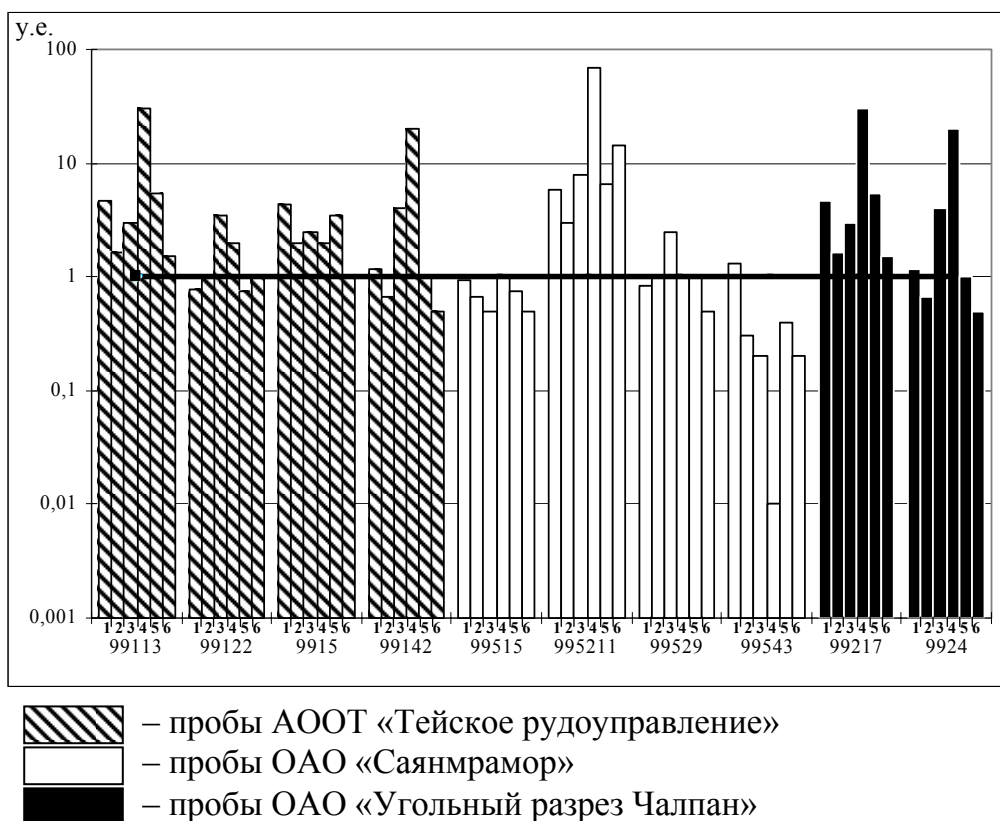


Рис. 18. Диаграмма распределения величин показателя изменчивости по результатам цитогенетического анализа отходов (1 столбец в каждой пробе – клетки с аберрациями хромосом с одиночными фрагментами; 2 – с двойными фрагментами; 3 – с хроматидными обменами; 4 – с хромосомными обменами; 5 – клетки с гиперплоидным набором хромосом; 6 – клетки с полиплоидным набором хромосом; — — линия на рисунке соответствует нормируемой величине)



По величине показателя изменчивости  $K$  установлено, что наибольшим мутагенным действием характеризуются пробы с отвала гранитов № 1 ОАО «Саянмрамор», отвала «Северный» Тейского железорудного месторождения и внешнего отвала угольного разреза Чалпан. Наименьшим – пробы пород с отвала «грязный» ОАО «Саянмрамор», в которых устанавливается высокая концентрация Se (сильный антимуаген).

**3. Комплексная оценка опасности отходов предприятий на основе результатов расчетных методов, геохимического анализа и методов биотестирования позволяет получать наиболее полную объективную информацию о воздействии на окружающую среду.**

Комплексная оценка опасности отходов для окружающей среды проводится с расчетами индекса токсичности (Временный ..., 1987), показателя степени опасности отхода (Критерии ..., 2001), а также суммарного показателя загрязнения (Методические ..., 1982; Геохимия ..., 1990). Для нормирования был принят кларк в земной коре по А.П. Виноградову (1962). Расчет проводился по 15 элементам (As, Se, Hg, Pb, Cd, Zn, Co, Cr, Cu, B, Ni, Mn, V, Ba и Sr), которые относятся к 1, 2 и 3 классам опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83). Результаты расчетов по указанным методикам приведены в табл. 4–5.

Таблица 4

Величины индекса токсичности (ИТ) и показателя степени опасности (ПСО) отходов предприятий

Предприятие	Вид пробы		ИТ (Временный..., 1987)	ПСО (Критерии..., 2001)
АООТ «Тейское рудоуправление»	Породы отвалов	«Северный»	106,5	6,49
		«Южный»	109,7	3,49
		«Южный-1»	145,5	1,5
		«Южный-2»	112,9	2,72
	Шлам хвостохранилища		99,6	4,23
	Шлам отстойника		448,8	4,08
	Золошлаковые отходы		281,6	2,21
ОАО «Саянмрамор»	Породы отвалов	№ 1 «грязный»	472,5	3,43
		№2 «чистый»	899,4	0,6
		№ 1 гранитный	752,3	3,21
		№ 2 гранитный	894,4	4,07
	Шлам отстойника №1		481,0	3,65
	Шлам отстойника №2		672,3	1,06
	Мраморная крошка		899,5	0,61
	Мраморная пыль		599,8	0,49
	Золошлаковые отходы		676,6	3,07
ОАО «Угольный разрез Чалпан»	Отвал		313,9	2,4
	Золошлаковые отходы		566,4	6,03
Согласно градации нормативных документов			$K > 30$ , IV класс – малоопасные	$K \leq 10$ , V класс – практически неопасные

По результатам расчетов отходы предприятий относятся к IV и V классам опасности соответственно, то есть к малоопасным и практически неопасным. Исходя из рекомендаций (Критерии..., 2001), для отходов, отнесенных к V классу опасности, проведено биотестирование на дафниях, что подтвердило отсутствие отрицательного влияния проб. В исследованиях автора было использовано дополнительно 3 тест-объекта (инфузории, мушки, культура клеток крови человека), чтобы максимально охватить воздействие на живые организмы (табл. 6).

Таблица 5

Величины суммарного показателя загрязнения (СПЗ) и кларки концентраций (КК) отходов предприятий

Предприятие	Вид пробы	СПЗ	Степень загрязнения	КК	
АООТ «Тейское рудоуправление»	Породы отвалов	«Северный»	27,2	средняя	Cu <sub>18,6</sub> , As <sub>4,6</sub> , Zn <sub>4,6</sub>
		«Южный»	12,7	низкая	As <sub>10,2</sub> , Cu <sub>8,3</sub> , B <sub>7,2</sub>
		«Южный-1»	1,3	низкая	B <sub>5,9</sub> , As <sub>2,2</sub> , Cd <sub>2,2</sub>
		«Южный-2»	35	высокая	Se <sub>23</sub> , As <sub>10,9</sub> B <sub>5,1</sub>
	Шлам хвостохранилища	38,4	высокая	As <sub>22</sub> , B <sub>16</sub> , Cd <sub>3,8</sub>	
	Шлам отстойника	37	высокая	B <sub>29,2</sub> , As <sub>22,2</sub> , Co <sub>4,3</sub>	
	Золошлаковые отходы	0,2	низкая	As <sub>4,2</sub> , B <sub>2,4</sub> Cr <sub>1,3</sub>	
ОАО «Саянмрамор»	Породы отвалов	№1 «грязный»	41,7	высокая	Se <sub>38</sub>
		№2 «чистый»	1	низкая	Se <sub>10</sub>
		№ 1 гранитный	7,8	низкая	Se <sub>12,7</sub>
		№ 2 гранитный	19,1	средняя	Se <sub>10</sub> As <sub>6</sub>
	Шлам отстойника №1	3,5	низкая	B <sub>1,24</sub>	
	Шлам отстойника №2	2,5	низкая	Se <sub>10</sub>	
	Мраморная крошка	1	низкая	Se <sub>10</sub>	
	Мраморная пыль	14	низкая	Se <sub>24</sub>	
	Золошлаковые отходы	23,9	средняя	B <sub>10,3</sub> , Se <sub>10</sub> , Cd <sub>7,2</sub>	
ОАО «Угольный разрез Чалпан»	Отвал	44,4	высокая	Se <sub>35,5</sub> , As <sub>7,9</sub> , B <sub>4,9</sub>	
	Золошлаковые отходы	29,5	средняя	B <sub>14,6</sub> , Se <sub>10</sub>	
Согласно градации Z <sub>СПЗ</sub> степень загрязнения: низкая (< 16), средняя (16–32), высокая (32–128), очень высокая (> 128)					

Водная вытяжка проб отходов для рачков *Daphnia magna Straus* острой токсичностью не обладает, тогда как для инфузорий ряд проб характеризуется умеренной степенью токсичности. По результатам на мушках *Drosophila melanogaster* и культуре клеток крови, часть проб отходов производства характеризуется наличием токсического (мутагенного) действия. Так как в данном исследовании четыре группы биотестов, то логично принимать однозначно за опасные отходы те, результаты которых по наличию биологического действия подтверждаются хотя бы двумя методами. Соответственно к опасным следует отнести: породы отвала «Южный-1», шлам хвостохранилища и отстойника Тейского железорудного месторождения; породы отвала № 1 гранитный, шлам отстойника № 1 и золошлаковые отходы ОАО «Саянмрамор»; породы отвала и золошлаки угольного разреза Чалпан.




По результатам исследования для изучаемых видов отходов отмечаются разные степени загрязнения по величине суммарного показателя загрязнения и биологическому воздействию (см. табл.5–6, рис.18).

Таблица 6

Результаты биотестирования отходов предприятий

Предприятие	Вид пробы		Тест-объекты			
			1	2	3	4
АООТ «Тейское рудоуправление»	Породы отвалов	«Северный»				
		«Южный»		н.о.		н.о.
		«Южный-1»				н.о.
		«Южный-2»		н.о.		н.о.
	Шлам хвостохранилища					
	Шлам отстойника					
	Золошлаковые отходы			н.о.	н.о.	
ОАО «Саянмрамор»	Породы отвалов	№1 «грязный»				
		№ 1 гранитный				
	Шлам отстойника №1					
	Мраморная крошка					н.о.
	Золошлаковые отходы					
ОАО «Угольный разрез Чалпан»	Отвал					
	Золошлаковые отходы					

Примечание: 1 - *Daphnia magna Straus*, 2 - *Paramecium caudatum*, 3 - *Drosophila melanogaster*, 4 – культура клеток крови человека.

	наличие биологического влияния
	отсутствие биологического влияния
	не определялось

### Заключение

На основе выполненных комплексных исследований отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия получены следующие выводы.

1. Отходы горно-добывающих предприятий Республики Хакасия, характеризуются специфическим минералого-петрографическим и геохимическим составом. Основными элементами-загрязнителями, накапливающимися в отходах Тейского железорудного месторождения, являются мышьяк и медь, ОАО «Саянмрамор» – селен, кадмий и бор, угольного разреза Чалпан – селен, бор и мышьяк. Величина суммарного показателя загрязнения изменяется от низкой до высокой степени.
2. Наибольшее влияние испытывают на себе почвы, находящиеся в зоне влияния отвалов «Северный» и «Южный» Тейского железорудного месторождения, а также № 1 «грязный» и № 1 гранитный ОАО «Саянмрамор».
3. В рекультивируемом слое почв отвала угольного разреза Чалпан установлены высокие концентрации элементов различных классов опасности, что не позволяет использовать данную площадь для сельскохозяйственного назначения.

4. Рациональный комплекс методов оценки опасности для получения наиболее полной, объективной информации должен включать результаты расчетных методов, геохимического анализа и методов биотестирования с использованием группы тест-объектов для оценки биологического влияния.

#### Список опубликованных работ автора по теме диссертации

1. **Азарова С.В.** Эколого-геохимическая оценка и токсичность пород внешнего отвала угольного разреза «Чалпан» // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. V Междунар. науч. симп. им. акад. М.А.Усова студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во STT, 2001. – С.479-480.
2. **Азарова С.В.** Эколого-геохимическая оценка и токсичность отходов производства угольного разреза «Чалпан» (Республика Хакасия) // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Мат. VI Междунар. экол. студ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. – С.90-92.
3. **Азарова С.В.** Геоэкологические проблемы угольных разрезов Республики Хакасия (на примере угольного разреза Чалпан) // Экология Южной Сибири: Тр. Южно-сибирской Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых 21-24 ноября 2001 в г. Абакане. Т. 2. – Красноярск: ИЦ КрасГУ, 2001. – С.71-72.
4. **Азарова С.В.** Отвал вскрышных пород и его воздействие на почву (на примере угольного разреза Чалпан Республики Хакасия) // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. VI Междунар. науч. симп. им. акад. М.А.Усова студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С.417-418.
5. Усманова Т.В., **Азарова С.В.** Экологическая составляющая в оценке техногенных месторождений // Актуальные задачи современных горно-технологических комплексов и пути их решения: Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. – Навоий: Изд-во НГГИ, 2002. – С.95-96.
6. **Азарова С.В.** Применение методики биотестирования для определения токсичности отходов горно-добывающих предприятий (на примере месторождений Хакасии) // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Мат. VII Междунар. эколог. студен. конф. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. – С.6-8.
7. Язиков Е.Г., Худяков В.М., **Азарова С.В.** Геоэкологические исследования отвальных хозяйств горно-добывающих предприятий для оценки токсичности отходов (на примере объектов Хакасии) // Техногенная трансформация геологической среды: Мат. междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Екатеринбург, УГГГА, 17-19 декабря 2002г.). – Екатеринбург: Изд-во УГГГА; Изд-во АМБ, 2002. – С.222-225.
8. Язиков Е.Г., Худяков В.М., **Азарова С.В.** Отвалы горно-добывающего производства: комплексная оценка токсичности (на примере объектов Республики Хакасия) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2003. – № 3. – С.93-97.
9. Язиков Е.Г., Худяков В.М., **Азарова С.В.** Геоэкологические проблемы угледобывающих предприятий и геохимическая оценка воздействия отвалов на почвы (на примере угольного разреза Чалпан, Республика Хакасия) // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – Вып.6. – С.433-445.
10. **Азарова С.В.** Комплексная оценка токсичности отходов горно-рудного производства (на примере объектов Республики Хакасия) // Сергеевские чтения. Вып.5. Молодежная сессия: Мат. год. сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (24-25 марта 2003). – М.: ГЕОС, 2003. – С.206-210.

11. Язиков Е.Г., Азарова С.В. Эколого-геохимическая характеристика отходов горно-добывающего предприятия, их токсичность и воздействие на почвы // Горный журнал. – 2003. – №11. – С.61-64.
12. Азарова С.В. Биотестирование отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия различными методами // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. VII Междунар. науч. симп. им. акад. М.А.Усова студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – С. 579-581.
13. Азарова С.В. Результаты биотестирования отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия с использованием *Drosophila melanogaster* // Школа экологической геологии и рационального недропользования (Экогеология-2003): Мат. IV Межвуз. молодеж. науч. конф. – СПб. 2003. – С.127-128.
14. Азарова С.В. О возможности применения методики биотестирования отходов горно-добывающих предприятий с использованием инфузорий // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: Мат. Междунар. науч. школы-конф. студентов и молодых ученых 26-29 ноября 2003г. в г. Абакане. Т. 2. – Красноярск: ИЦ КрасГУ, 2003. – С.6-7.
15. Азарова С.В., Язиков Е.Г., Ильинских Н.Н. и др. Генетическая оценка биологического влияния отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия с использованием *Drosophila melanogaster* // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии: Сб. науч. работ. Вып.3. – Томск: Изд-во СГМУ, 2004. – С.9-12.
16. Азарова С.В., Язиков Е.Г., Ильинских Н.Н., Новикова Н.А. Сравнительная оценка токсичности отходов горно-добывающих предприятий с использованием методов цитогенетического и генетического анализа // Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии: Сб. науч. работ. Вып.3. – Томск: Изд-во СГМУ, 2004. – С.13-16.
17. Азарова С.В. Сравнительный анализ результатов биотестирования отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. VIII Междунар. науч. симп. им. акад. М.А.Усова студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – С. 690-693.
18. Азарова С.В. Методы биотестирования в анализе отходов горнодобывающих предприятий // Школа экологической геологии и рационального недропользования (Экогеология-2004): Мат. V межвуз. молодеж. науч. конф. – СПб. 2004. – С.183-184.
19. Азарова С.В., Язиков Е.Г., Ильинских Н.Н. Оценка экологической опасности отходов горно-добывающих предприятий Республики Хакасия с применением метода биотестирования // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т.307 – № 4. – С.55-59.