

*На правах рукописи*



**Сергеенко Елена Николаевна**

**ОБОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ  
СУРЬМЯНЫХ РУД ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛья**

**Специальность 25. 00.36 – «Геоэкология»**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой  
кандидата технических наук



09

003488549

**Чита 2009**

Диссертация выполнена в ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

**Научный руководитель** доктор технических наук,  
профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ  
**Мязин Виктор Петрович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
доцент  
**Черкасов Валерий Георгиевич**  
кандидат технических наук  
**Гильфанов Марат Рафаэлович**

**Ведущая организация:** ООО «ЗабНИИ-технология», г. Чита

Защита диссертации состоится « 25 » декабря 2009 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.299.02 в Читинском государственном университете по адресу: 672039 г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, зал заседаний ученого совета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 672039, Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30, ЧитГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.299.02 Н.М. Шарапову

Факс: (3022) 41-64-44; Web-server: [www.chitgu.ru](http://www.chitgu.ru); e-mail: [root@chitgu.ru](mailto:root@chitgu.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Читинского государственного университета по адресу ул. Кастринская,1.

Автореферат разослан « 24 » ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Шарапов Н.М.

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Необходимость освоения минерально-сырьевых ресурсов сурьмы в России обусловлена повышением мировых цен на сурьмяную продукцию, созданием новых материалов, технологий с использованием сурьмы, резким сокращением поставок сурьмы на мировой рынок основным ее производителем (Китаем), лишением страны крупных месторождений при распаде СССР. Прогнозируемый рост спроса на сурьму в мире связан с ужесточением требований противопожарной безопасности и увеличением производства антипиренов.

Современная добыча и переработка сурьмяных руд России базируется преимущественно на запасах Якутии, расположенных в неблагоприятных географо-экономических условиях. На крупном Олимпиадинском золоторудном месторождении (60 % запасов сурьмы в стране) сурьма учтена как попутный компонент и по технологическим причинам не извлекается. Существенное улучшение состояния минерально-сырьевой базы сурьмы возможно путем использования крупного ресурсного потенциала Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции (прогнозные ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$  272 тыс. т Sb). Здесь известны многочисленные (около 250) мелкие и средние объекты часто с богатыми сурьмяными рудами, которые практически не изучены. Все они локализуются в различных по составу горных породах обычно в разрывных нарушениях и в своем большинстве принадлежат к единому формационному и геолого-промышленному типам. Поскольку золото-сурьмяное оруденение в регионе самое позднее, во многих случаях оно локализуется в тех же структурах, что и более ранне, преимущественно полиметаллическое, образуя сложные по составу комплексные руды. Для таких руд характерен повышенный уровень опасности по содержанию мышьяка, ртути, свинца, цинка.

Вопросы переработки сурьмяных золотосодержащих руд традиционными способами рассмотрены в работах известных ученых А.А. Абрамова, В.И. Зеленова, Е.П. Лемана, В.А. Лилеева, Э.Г. Литвинцева, В.В. Лодейщикова, В.А. Мокроусова, В.П. Мязина, В.И. Ревнивцева, П.М. Соложенкина, Л.П. Старчика, Г.В. Седельниковой, Е.М. Шлюфмана, Ю.О. Федорова, коллективами ИРГИРЕДМЕТА, ЦНИГРИ, АЛРОСА, другими НИИ СССР и России. Однако, существенные успехи в области разработки технологий обогащения и переработки их продуктов не рассматривают вопросы экологической безопасности месторождений и технологий. До сих пор для многих месторождений, в том числе забайкальских, не разработаны требования к построению технологических схем, позволяющих уменьшить негативное воздействие процессов обогащения на окружающую природную среду; при изучении месторождений чаще анализируются экологические аспекты горнорудного предприятия в части структуры производства.

Другим, очень важным, элементом расширения и использования минерально-сырьевой базы сурьмы является освоение прогрессивных технологий, в частности рентгенорадиометрической сепарации (РРС). Эта технология усиливает интерес недропользователей отрабатывать месторождения, поскольку позволяет организовать рентабельную переработку как богатых и рядовых, так и крупных залежей бедных руд. Она существенно упрощает технологию обогащения руд, повышает

полноту извлечения из недр минерального сырья, гарантирует получение даже из руд с бортовым содержанием Sb 0,7 % промышленного продукта с содержанием Sb 8-10 % (извлечение 95-98 %) при крайне низких потерях Sb в хвостах сепарации (не более 0,12 %).

PPC обеспечивает исключительно высокую техногенную миграцию полезного компонента и примесей при производстве промпродукта (Sb 10-20 %), концентрата (Sb 48-51 %) и в процессе накопления больших объемов отходов, т.е. образует новые источники негативного воздействия на окружающую природную среду и здоровье человека. Все это вызывает необходимость учета экологических особенностей минерального сырья и используемой технологии его переработки для определения степени экологической безопасности продукции и отходов PPC. Актуальность исследований заключается в геоэкологической оценке воздействия современного прогрессивного производства, направленной на организацию не только эффективного, но и безопасного производства сурьмы.

Работа выполнялась в рамках разрабатываемой региональной программы экологической безопасности горнорудного производства Забайкальского края на кафедре обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья Горного института Читинского государственного университета и Федеральной программы «Отходы производства и потребления Читинской области 2003-2012 г.».

**Цель исследования** – оценка природной экологической безопасности месторождения, технологии PPC и отходов обогащения для принятия решений повышения эффективности и безопасности горнорудного производства.

Для достижения цели предусматривается решение следующих **основных задач**:

- оценить степень экологической опасности природных условий локализации сурьмяного оруденения, используя результаты собственных работ, геохимических исследований природных веществ и горного предприятия;
- оценить степень накопления токсичных элементов в сурьмяном промпродукте, сурьмяном концентрате и в отходах PPC, основываясь на результатах собственных исследований и горнорудного предприятия;
- установить экологическую безопасность отходов PPC и возможность их использовать в качестве вторичного сырья, опираясь на имеющийся фактический материал и соответствующие нормативные документы.

**Основная идея работы** заключается в целесообразности всестороннего учета природных особенностей Жипкошинского месторождения и наиболее прогрессивной технологии PPC сурьмяных руд для выявления количественных характеристик экологической безопасности горнорудного производства и снижения негативного воздействия отходов на окружающую среду.

**Объектом исследования** являются золотосодержащие сурьмяные руды Восточного Забайкалья, относящиеся к сурьмяному золото-кварцевому геолого-промышленному типу. Характерным представителем этого типа является Жипкошинское месторождение, на примере которого возможно решение вопросов экологической безопасности объектов, связанных с концентрацией химических элементов в коренных породах, рыхлых образованиях, в природной биокосной системе и при их техногенной миграции в процессе современной технологии переработки сурьмяных руд – рентгенорадиометрической сепарации (PPC). Месторождение по запасам

сурьмы малое, представлено контрастными по физико-механическим свойствам сравнительно крутопадающими относительно маломощными (0,2-6,5 м) кварц-антимонитовыми жилами и менее контрастными зонами прожилково-вкрапленных руд мощностью до десятков метров со средним содержанием сурьмы около 5 %. Протяженность рудных тел по простиранию сотни, по падению – до 150 м. Минеральный состав (%) руды: антимонит (2-85), кварц (2-80), арсенопирит, марказит, пирит, бертьерит, сурьмяные охры (стибиоконит, сервантит, сенармонтит), киноварь, лимонит, скородит. Химический состав (%) богатой антимонитовой руды: сурьма – 43,9, сера – 20,5, кремний – 10,7, мышьяк – 0,05, ртуть – 0,005, железо – 0,14, свинец – 0,001, кислород – 18, золото – 0,1-0,25 г/т, серебро – 2,92 г/т, средний элементный состав ( $n \cdot 10^{-3}$ ) руды: Zn, W, V, Pb, Ni, La, Ce, Mn, Cu (1-7), Zr, Cr, Be (10-70), As, Ti, Mo, Mg, Ca (200-300).

Опытно-промышленная обработка месторождения проводится открытым способом.

**Предмет исследования** – распределение экологически опасных рудных компонентов на месторождении и их миграция при РРС сурьмяных руд.

**Решаемая научно-техническая задача** – по результатам оценки экологической безопасности РРС сурьмяных руд Жипкошинского месторождения уточнить экологические особенности подобных объектов Восточного Забайкалья.

**Фактический материал.** В диссертационной работе обобщены литературные, патентные данные, использованы данные действующего горно-обогатительного производства и ретроспективных геологических исследований.

Жипкошинское месторождение открыто в 1955 г. при геологической съемке масштаба 1:200000. В последующем геологическое строение месторождения и его района неоднократно уточнялось, в настоящее время используются материалы действующего предприятия, которое одновременно с опытно-промышленной эксплуатацией проводит разведку месторождения. На месторождении и в его окрестностях выполнены геохимические и геофизические исследования.

Автором отобрано более 200 проб, которые изучены в 3 аттестованных лабораториях (ЗабНИИ, ЦЛАТИ, ЛИЦИМСе). Аналитические исследования включают анализы: химический (10), рентгеноструктурный (15), титриметрический (20), минералогический (15), полуколичественный спектральный (20), атомно-абсорбционный (30). Выполнены они по стандартным методикам с удовлетворительным качеством. Собственные технологические исследования по обогатимости руд выполнены в лабораториях института.

**Методы и методика исследований.**

В процессе исследования вещественного состава руды применялись химические, физические и минералогические методы исследования.

Вещественный состав руд изучен по 193 химическим анализам борздовых и задирковых проб. Химический (элементный) состав руды определялся спектральным и химическим анализами. Спектральный анализ выполнялся с небольшими навесками от 10-100 мг. Химическому анализу подвергались руды после спектрального анализа, в результате которого определились отсутствующие элементы. Для изучения минералогического анализа применялся макроскопический и микроскопический анализы. Образцы отбирались от частной пробы в количестве от 6—8 до 20—30 шт.

Мониторинг качества почв производился по приоритетным химическим элементам – индикаторам отходов сурьмяных руд: сурьме, цинку, свинцу, ртути, мышьяку.

Площадки для отбора проб располагались вдоль векторов розы ветров. Пробы почвы отбирались на расстоянии 50, 100, 200, 300, 500 м и 1000 м от карьера. Отбор проб почв проводился по сети опробования. Пробы отбирались с глубины 0-20 см. Представительность каждой отдельно взятой пробы обеспечивалась применением способа перемешивания образцов. Образец представляет собой объединение пяти проб. Оценка уровня химического загрязнения почв произведена по уточненному (в соответствии с классом вещества) коэффициенту концентрации химических веществ и суммарному показателю загрязнения.

#### Защищаемые научные положения.

1. Жипкошнинское месторождение является сложной природной геохимической аномалией. В кварц-антимонитовой руде накапливаются экологически опасные концентрации сурьмы, серы, кремния, мышьяка, ртути, свинца, в рыхлых отложениях - сурьмы, мышьяка и кремния, а в биокосной системе – сурьмы, мышьяка, ртути и свинца.
2. Рентгенорадиометрическая сепарация обеспечивает получение экологически опасного промпродукта, экологически опасного концентрата и относительно экологически безопасных отходов. Степень концентрации токсичного комплекса ( $\phi$ ) определяется по формулам:

(для промпродукта и концентрата)

$$\phi = \beta_{\tau} / \chi_{\tau}, \quad (1)$$

(для отходов)

$$\phi = \theta_{\tau} / \chi_{\tau}, \quad (2)$$

где  $\chi_{\tau}$  – содержание токсичных и потенциально токсичных компонентов в исходном минеральном сырье;

$\beta_{\tau}$  – содержание токсичных и потенциально токсичных компонентов в продуктивной фракции;

$\theta_{\tau}$  – содержание токсичных и потенциально токсичных компонентов в непродуктивной фракции.

**Научная новизна работы.** Диссертация является первой работой, посвященной оценке степени экологической безопасности производства сурьмяного продукта методом РРС. Ее научная новизна в области экологии заключается в следующем:

1. Основываясь на результатах химического, спектрального, пробирного, минералогического анализов первичных и окисленных кварц-антимонитовых руд, выполненных при поисках, оценке и разведке месторождения, результатах литохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния масштабов 1:50 000 и 1:10000, выполненных в поисковую стадию изучения месторождения, результатах собственных исследований концентрации химических элементов в биокосной системе месторождения впервые установлен перечень экологически опасных элементов, выявлены основные особенности и уровни концентрации этих элементов в каждой из названных природных сред. Эти

знания применимы при экологической оценке новых сурьмяных объектов Восточного Забайкалья в предпроектную стадию их освоения.

2. По результатам всех исследований впервые создана экологическая система кварц-антимонитового месторождения, рассматривающая историю его экологически опасных компонентов в единстве - от формирования (природная концентрация) до преобразования (физико-химическое рассеяние). Эта система обеспечивает сравнительную оценку интенсивности рассеяния экологически опасных элементов руд в условиях резко континентального климата Восточного Забайкалья с другими природными условиями.

3. Используя критерий экологической безопасности, уточнена методика обоснования рациональных технологических схем, использование которой позволяет повысить качество проектных исследований.

4. По результатам технологических исследований предприятия, собственных лабораторных работ, используя статистические методы обработки экспериментальных данных, компьютерную программу «Эколог», установлены закономерности техногенной миграции экологически опасных элементов, которые позволяют аналитически оценивать уровень концентрации токсичного комплекса в основных продуктах РРС – промпродукте, концентрате и отходах сепарации. Предложенная формула упрощает контроль экологической безопасности горнорудного производства.

5. По результатам физико-механических испытаний, оценки экологической безопасности, опираясь на требования к минеральному сырью обоснована принадлежность отходов РРС к вторичному минеральному сырью, что обеспечивает более полное использование недр и отходов производства.

#### **Личный вклад автора**

- постановка задач, их решение, анализ и обработка полученных результатов;
- соискатель является ответственным исполнителем и непосредственным исполнителем работ связанных с проведением исследований;
- выявление закономерностей техногенной миграции экологически опасных элементов в сурьмяном промпродукте, сурьмяном концентрате и в отходах РРС и их исследование с учетом класса опасности для окружающей природной среды;
- разработка методологии исследования рациональных технологических схем переработки сурьмяных руд, которая упрощающей контроль экологической безопасности горнорудного производства на основе использования критерия экологической безопасности;
- разработка основных положений, выводов и рекомендаций по научным исследованиям.

#### **Достоверность, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена**

- соответствием уровня случайных и систематических погрешностей всех измерений требованиям НТД;
- удовлетворительной сходимостью результатов расчетов по формуле и аналитических измерений (относительная погрешность не более 12 %);
- научные положения обоснованы представительным фактическим материалом и его глубоким анализом;

– приемлемость основных методических и практических рекомендаций подтверждена патентом и достаточным количеством обсужденных и рецензируемых публикаций.

#### **Практическая значимость.**

1. Разработанные научные положения по экологической безопасности РРС сурьмяных руд позволяют широкому кругу исследователей целенаправленно изучать экологическую безопасность других методов обогащения таких руд, совершенствовать технологические схемы переработки другого минерального сырья. Они предполагают углубленное изучение особенностей пространственного размещения экологически опасных компонентов руд прежде всего в пределах и в окрестностях месторождения, а затем их техногенную миграцию в различные продукты обогащения.

2. В виду накопления в рыхлых образованиях и в почвенно-растительном слое экологически опасных элементов не рекомендуется транспортирование этих природных образований за пределы месторождения.

3. По результатам собственных исследований уточнена технологическая схема РРС, что позволяет оптимизировать процесс техногенной миграции основного экологически опасного компонента руд, упростить контроль за его поведением при обогащении; схема запатентована как полезная модель в 2008 году.

4. Методика обоснования рациональных технологических схем упрощает разработку технологических регламентов в предпроектную стадию освоения месторождений.

5. Использование отходов РРС в качестве вторичного сырья снижает влияние техногенных отходов на окружающую природную среду, обеспечивает более полное применение добытого из недр минерального сырья для целей строительства.

6. Результаты исследований используются в учебном процессе при проведении практических занятий по дисциплине «Горное дело и охрана окружающей среды», по направлению 130400 - «Горное дело», специальности 130405. 65.

**Публикации и апробация положений диссертации.** По теме диссертационной работы опубликовано 18 научных работ и 1 патент РФ. Основные результаты и научные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на II Всероссийской школе-семинаре молодых ученых с международным участием, посвященной 75-летию со дня рождения чл.-кор. РАН С.Б. Леонова (Иркутск, ИрГТУ, 2006 г.); X международной молодежной научной конференции «Молодежь Забайкалья: Культура здоровья - здоровое общество» (Чита, ИИЦ ЧГМА, 2006 г.); международной научно-практической конференции «Особенности хозяйственной деятельности на Байкальской природной территории» (Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007 г.); научном симпозиуме «Неделя горняка 2008» (Москва, МГГУ, 2008 г.); всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (Новосибирск, НГТУ, 2007 г.); VII Всероссийской научно-практической конференции «Кулагинские чтения» (Чита, ЧитГУ, 2007 г.); VIII Всероссийской научно-

практической конференции «Кулагинские чтения» (Чита, ЧитГУ, 2008 г.); международной молодежной научно-практической конференции «Молодежь Забайкалья: перспектива развития края» (Чита, ЗАБИЖТ, 2008); III международной научно-практической конференции, посвященной году планеты Земля и 85-летию Республики Бурятия «Приоритеты и особенности развития Байкальского региона» (Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СОРАН, 2008 г.); «Плаксинских чтениях 2007» (Апатиты, Кольский научный центр РАН, 2007 г.); «Плаксинских чтениях 2008» (Владивосток, 2008 г.); «Плаксинских чтениях 2009» (Новосибирск, 2009 г.); молодежной научно-практической конференции «Молодежь и наука Забайкалья» (Чита, ИПРЭК СО РАН, 2008 г.); четвертой международной конференции «Актуальные проблемы Экологической геологии. Наука и образование. Экогеология» (Санкт-Петербург, СПбГУ, 2008 г.); V школе-семинаре молодых ученых России «Проблемы устойчивого развития региона» (Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СОРАН, 2009 г.).

**Автор выражает свою признательность** научному руководителю, Заслуженному деятелю наук, Заслуженному изобретателю РФ, Заслуженному работнику высшей школы, профессору, д-ру техн. наук Мязину В.П., профессору, д-ру геолого-минер. наук Павленко Ю.В. за ценные советы, поддержку и внимание при проведении исследований и написании диссертации.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 115 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц, рисунков, библиографического списка из 105 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты научных исследований отражены в научных положениях, выносимых на защиту.

### **Первое научное положение.**

**Жипкошинское месторождение является сложной природной геохимической аномалией. В кварц-антимонитовой руде накапливаются экологически опасные концентрации сурьмы, серы, кремния, мышьяка, ртути, свинца, в рыхлых отложениях - сурьмы, мышьяка и кремния, а в блоковой системе - сурьмы, мышьяка, ртути и свинца.**

Основной методический прием, используемый для раскрытия первого научного положения – это комплексный, системный геохимический анализ компонентов и техногенных ландшафтов на территории месторождения, исследование закономерностей распределения токсичных и потенциально токсичных элементов составляющей геосистемы, относительно предельно допустимых концентраций, определяющих опасность для населения и окружающей среды.

При рассмотрении вовлекаемых в переработку типов минерального сырья предлагается наряду с преобладающим ценным компонентом обязательно выделять содержащиеся токсичные элементы и соединения (компоненты).

Оценка техногенных объектов должна быть технолого-эколого-экономической, поскольку экологический аспект их комплексного освоения, наряду с сырьевым, является важнейшим.

Используемый критерий экологической безопасности – обнаружение приоритетных химических элементов рудоносной провинции – токсичных и потенциально токсичных компонентов.

На Жипкошинском месторождении выявлено основное рудное тело, несколько минерализованных зон и отдельных маломощных кварц-антимонитовых жил. В целом на Жипкошинском месторождении выделяется два основных структурно-морфологических типа антимонитового оруденения: кварцево-жильный (простые и ветвящиеся жилы) и линейно-штокверковый (прожилково-вкрапленный), развивающийся по контакту с жильными рудами или образующие самостоятельные минерализованные зоны, подчиненный "стержневым" жилам.

В 1963 г. на площади месторождения ( $1,65 \times 0,45 \text{ км}^2$ ) литохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния масштаба  $1:10\,000$  ( $2 \text{ км}^2$ ) установлены пространственно совмещенные субширотные аномалии As (0,1-2 %) и Sb (0,03-0,3 %); максимальные содержания Au 0,03-0,1 г/т установлены в 4-х пробах. В 1966 г. аналогичной съемкой масштаба  $1:50\,000$  в окрестностях месторождения выявлены ореольные поля (аномальные зоны) с содержаниями As – 0,003-0,2 %, Sb – 0,003-0,01 %, W – до 0,005 %, Li – до 0,03 %; месторождение находится на южном фланге субмеридиональной аномальной зоны, выделяемой по ореолам As и Sb. Геофизическими исследованиями масштаба  $1:50\,000$  фиксируются относительно низкие и ровные магнитные и гамма поля, связанные с основными магматическими породами.

В процессе добычи и переработки происходят сложные химические и фазовые превращения минеральной части руд.

По данным химического анализа борздовых проб кварц-антимонитовая жила содержит 15,8 - 51,1 % сурьмы, средневзвешенное содержание сурьмы в жиле на поверхности 34,8 %. На глубине 36,7-42,7 м содержание сурьмы в жиле 23,52-23,74 %. Вмещающие породы с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией антимонита или без нее на контакте с жилой содержат 0,3 - 8,3 % сурьмы. При этом в лежащем боку жилы содержание сурьмы выше, а мощность оруденелых пород больше, чем в висячем. Содержание мышьяка 0,04-0,7 % (в среднем 0,2 %), ртути - 0,0003 - 0,04 % (в среднем 0,009 %). Золото по данным спектрального анализа присутствует в количестве 0,01-0,05 г/т, содержание серебра 0,1-1,4 г/т. Относительное содержание окисленной формы сурьмы составляет для пробы богатой руды – 8,51 %, для пробы рядовой руды – 51,57 %. Не постоянные и редкие содержания на уровне около кларковых зафиксированы также для: W, La, Li, Nb, Ga, Ge, Sc. Не обнаружены: Bi, Cd, Jn, Sr, Hf, Ta, Th, Tl, Yn, Te, U. Химический состав руды Жипкошинского месторождения приведен в табл. 1. Отличительной чертой перерабатываемых на Жипкошинском месторождении сурьмяных руд является повышенное содержание сульфидов (пирит, арсенопирит, марказит, бертьерит, сурьмяные соли свинца и меди).

На основании исследований вещественного состава можно констатировать, что в кварц-антимонитовой руде накапливаются экологически опасные концентрации сурьмы, серы, кремния, мышьяка, ртути, свинца.

## Результаты химического анализа исходных проб

Компонент	Проба богатой руды	Проба рядовой руды
1	2	3
SiO <sub>2</sub>	46,98	74,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,87	10,52
TiO <sub>2</sub>	0,17	0,5
CaO	0,7	0,42
MgO	0,16	0,33
MnO	0,013	0,026
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (III)	1,51	2,15
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,85
K <sub>2</sub> O	0,39	3,16
Zn	0,005	0,005
Pb	0,001	0,001
Cu	0,002	0,001
Hg	0,02	0,01
S <sub>общ</sub>	12,53	1,16
As	0,13	0,34
Sb <sub>общ</sub>	34,92	5,54
Au, г/т	-	-
Ag, г/т	<0,13	0,25
Всего	99,44	99,82

Никаких научных исследований ранее о почвах на территории месторождения не проводилось, поэтому в настоящее время нет опубликованных конкретных сведений о структуре почвенного покрова рассматриваемой территории, а также о загрязнении поверхности почв тяжелыми металлами.

Оценка уровня химического загрязнения почв произведена по уточненному (в соответствии с классом опасности вещества) коэффициенту концентрации токсичных компонентов по приоритетным химическим элементам, накапливающимся в биосферной системе: сурьма, свинец, цинк, ртуть, мышьяк.

Опробование и лабораторные исследования почв проведено с использованием гостированной и аккредитованной методики. Проанализированы выборки почвы- 30 проб (табл.2).

По результатам количественного химического анализа в минеральной части почв присутствуют кремний, сурьма, железо, алюминий, кальций, магний, фосфор, свинец, цинк, мышьяк, ртуть, сера и другие элементы. Как правило, химические элементы в почве находятся в окисленном состоянии или в виде солей угольной, серной, фосфорной, соляной и других кислот.

Таблица 2

Среднее содержание химических элементов и значения ПДК (ОДК) в почве по классам опасности загрязняющих компонентов

Класс опасности	Значения ПДК (ОДК) для элементов, мг/кг				Среднее содержание химических элементов в почве месторождения, мг/кг			
	As	Hg	Pb	Zn	As	Hg	Pb	Zn
1 класс	2,0	2,1	32,9	23,0	10,2	5,4	59,0	29,0
	Sb	Cu	Co	Cr	Sb	Cu	Co	Cr
2 класс	4,5	3,0	5,0	6,0	200	1,2	0,007	2,0
	W	V	Sr	Mn	W	V	Sr	Mn
3 класс	-	150,0	6,0	700,0	6,0	45,0	-	20,0

Анализ распределения тяжелых металлов в почве показал неравномерность загрязнения токсичными компонентами, содержание их экспоненциально уменьшается с удалением источника загрязнения (карьера) и зависит в основном от природных условий региона, рассеивания элементов по розе ветров, что указывает на техногенный характер загрязнения. При этом образуются локальные геотехногенные аномалии (рис. 1).

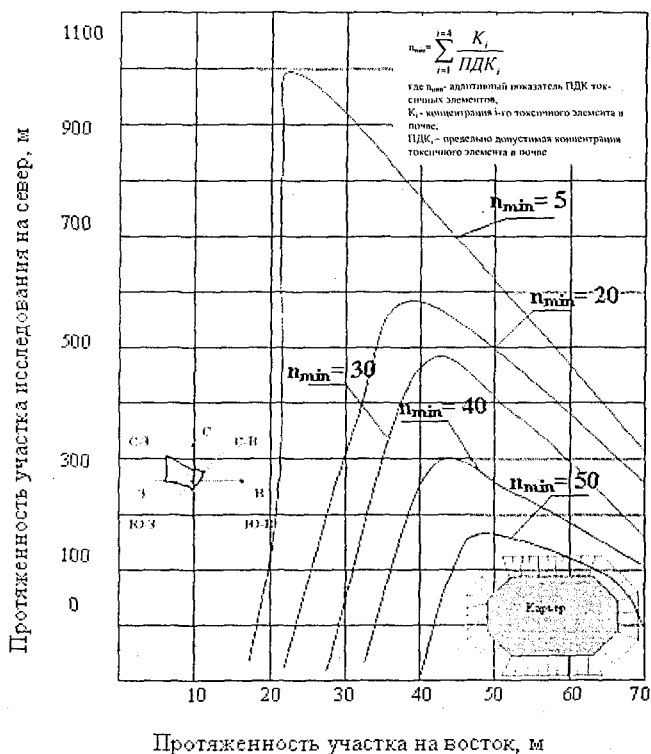


Рис. 1. Изолинии концентрации загрязняющих компонентов в почвах Жипкошинского месторождения (в аддитивных показателях ПДК токсичных элементов)

В некоторых пробах ПДК по концентрации

токсичных и потенциально токсичных компонентов превышают от 2- 45 раз.

Сурьма – элемент, существующий в состояниях окисления  $-3$ ,  $+3$ ,  $+5$ . Образует в основном устойчивые катионные соединения, способна образовывать комплексы. Трехвалентные соединения сурьмы оказываются более токсичными, чем пятивалентные. Действие соединений сурьмы на организм во многом подобно действию мышьяка. Сурьма образует связи с атомами серы (реагирует с SH-группами ферментов), что обуславливает ее высокую токсичность.

В зоне действия предприятия наблюдается неблагоприятная экологическая обстановка, связанная с выбросами тяжелых токсичных металлов и газов в атмосферу, литосферу. Для тяжелых металлов в принципе не существует механизмов самоочищения - они лишь перемещаются из одного природного резервуара в другой, оставляя нежелательные последствия этого взаимодействия. Не рекомендуется транспортировать почвы за пределы месторождения. Необходимо обустройство полигона для хранения токсичных отходов, с целью захоронения снятого поверхностного слоя почвы с опасными уровнями загрязнения.

Безопасность жизнедеятельности населения в значительной степени зависит от техногенного загрязнения окружающей среды. В результате экологического отравления организма химическими веществами у населения развивается предпосылка возникновения болезней органов пищеварения, дыхания, эндокринной системы, крови и органов кроветворения, злокачественных образований, врожденной патологии и др.

#### **Второе научное положение.**

**Рентгенорадиометрическая сепарация обеспечивает получение экологически опасного промпродукта, экологически опасного концентрата и относительно экологически безопасных отходов. Степень концентрации токсичного комплекса (Ф) определяется по формулам.**

На основе минералого-технологической оценки выявлено, что наиболее перспективным для обогащения комплексных сурьмяных руд является применение радиометрического метода обогащения, основным фактором разделения является высокая энергия характеристического излучения (27 кэВ) сурьмы как элемента и ее основного минерала антимонита при облучении ее рентгеновскими лучами.

Технологическая схема предусматривает проведение радиометрической сепарации в две стадии, но на одном и том же оборудовании: на первой стадии выделяются хвосты (в отвал, на щебенку) и промпродукт, который накапливается и затем (по мере накопления), через повторное грохочение снова подвергается радиометрической сортировке (вторая стадия) с получением обогащенного продукта и концентрата. РРС существенно упрощает технологию обогащения руд, повышает полноту извлечения из недр минерального сырья, гарантирует получение даже из руд с бортовым содержанием Sb 0,7 % промышленного продукта с содержанием Sb 8-10 % (извлечение 95-98 %) при крайне низких потерях Sb в хвостах сепарации (не более 0,12 %).

Существует множество методов оценки безопасности применяемых технологий, использующих самые разнообразные показатели, характеризующие как состояние исходного сырья в целом, так и состояние его отдельных продуктов.

Оценку технологии РРС сурьмяного сырья предлагается производить путем использования разработанной методологии выделения в системе триады: вещество – технология – экологическая безопасность жизнедеятельности человека (рис. 2).

Главным направлением развития научных знаний в области первичной переработки минерального и техногенного сырья состоит: в изучении взаимосвязи структурного, вещественного и фазового состава природного и техногенного сырья с физическими, физико-химическими и технологическими свойствами минералов, образующих подсистему, характеризующую «минеральный блок».

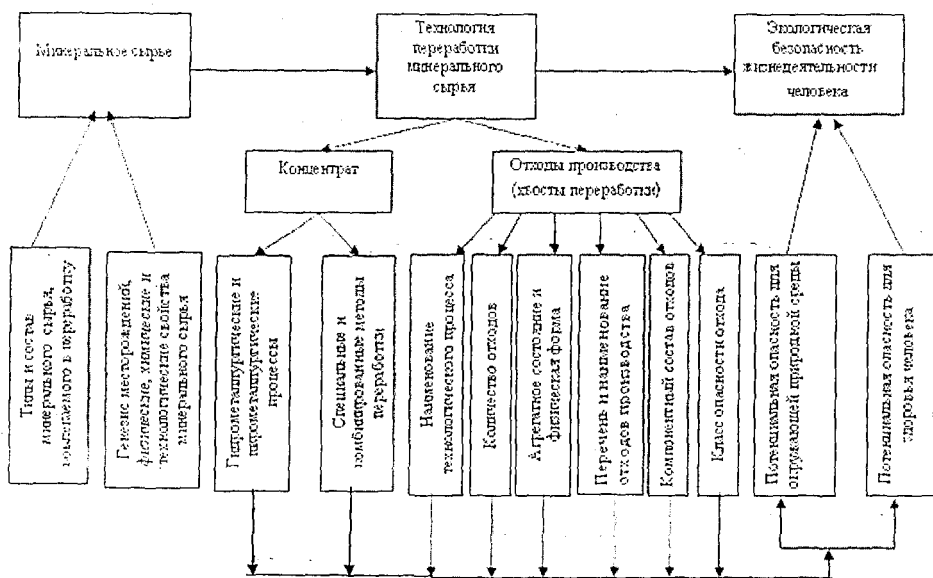


Рис. 2. Геоэкологическая система взаимосвязи между собой подсистем «вещество - технология переработки - экологическая безопасность жизнедеятельности человека»

Подсистема «концентрат» – характеризует основные методы, процессы и устройства для их реализации с позиции используемых инноваций для получения готовой продукции.

Подсистема «отходы производства» – отражает характеристики используемого технологического процесса, количество образуемых отходов, агрегатное состояние и физические свойства, компонентный состав отходов и их класс опасности. Для отходов сурьмяного производства характерен высокий уровень опасности по содержанию мышьяка, ртути, цинка.

Подсистема «экологическая безопасность жизнедеятельности человека» – потенциальная опасность для окружающей природной среды, потенциальная опасность для здоровья человека.

Основные посылки, заложенные для исследования экологической безопасности технологии РРС сурьмяных руд:

– сложная многокомпонентная система; содержание в исходном сырье, концентрации и хвостах вредные токсичные примеси (токсичные и потенциально токсичные компоненты);

– степень концентрирования токсичных примесей по продуктам обогащения, исходя из баланса токсичных и потенциально токсичных компонентов по содержанию и частному выходу в отдельных продуктах.

Основываясь на методологических принципах определения технологических показателей обогащения, исходя из баланса получения двух продуктов (продуктивной и непродуктивной фракции), нами предложено перенести этот прием для оценки экологической безопасности технологии РРС сурьмяных руд на основе оценки выхода и содержания токсичных и потенциально токсичных компонентов по получаемым продуктам.

Методика предусматривает использование в качестве основного критерия экологической безопасности технологий частный выход токсичных компонентов в отходах ( $\gamma_{отх}$ ):

$$\gamma_{отх} = \frac{100(\beta_T - \chi_T)}{(\beta_T - \theta_T)}, \% \quad (1)$$

где  $\chi_T$  – содержание токсичных и потенциально токсичных компонентов в исходном минеральном сырье;

$\beta_T$  – содержание токсичных и потенциально токсичных компонентов в продуктивной фракции;

$\theta_T$  – содержание токсичных потенциально токсичных компонентов в непродуктивной фракции.

В дальнейшем определяется степень концентрации токсичных примесей ( $\varphi$ ) – показатель, обозначающий, какая часть токсичных и потенциально токсичных компонентов, перешла в отходы с использованием той или иной технологии:

$$\varphi = \frac{\theta_T}{\chi_T}, \quad (2)$$

Оценку эффективности перевода токсичных и потенциально токсичных компонентов разделения минерального сырья ( $\eta$ ) предлагается определять по формуле Ханкокка-Луйкена:

$$\eta = \frac{П_T - \gamma_T}{100 - \chi_T} \times 100, \% \quad (3)$$

где  $\gamma_T$  – выход токсичных компонентов в продуктивной фракции,

$$\gamma_T = 100 - \gamma_{отх}, \% \quad (4)$$

$П_T$  – полнота перевода токсичных и потенциально токсичных компонентов в продуктивную фракцию:

$$П_T = \frac{100(\chi_T - \theta_T)\beta_T}{\chi_T(\beta_T - \theta_T)}, \% \quad (5)$$

Полнота перевода токсичных и потенциально токсичных компонентов в отходы:

$$P_{отх} = 100 - P_r, \% \quad (6)$$

Анализ полученных результатов показал, что рентгенорадиометрическая сепарация обеспечивает получение экологически опасного промпродукта, экологически опасного концентрата и относительно экологически безопасных отходов. Степень концентрации токсичного комплекса составляет соответственно: для промпродукта 0,65; концентрата 1,75; отходов 0,11.

За счет применения технологии РРС для переработки руды при сокращении использования опасных веществ, оказывающих вредное воздействие на окружающую среду, общие выбросы загрязняющих веществ при значительном росте объемов переработки руды и выпуска концентрата не только стабилизируются, но и значительно снижаются.

Отходы рентгенорадиометрической сепарации представляют ценное вторичное сырье строительных материалов, V класса опасности, отвечающего требованиям ГОСТ.

Класс опасности отходов установлен на основании утвержденного (Приказ МПР России от 15.06.01, № 511) документа «Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».

Отнесение отходов к классу опасности для ОПС определяется по показателю (К) – степени опасности отхода при его воздействии на ОПС, рассчитанного как сумма показателей степени опасности отдельных компонентов, составляющих отход (К<sub>і</sub>) (табл. 3):

Таблица 3

Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности отхода для ОПС

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода для ОПС (К)
I	$10^6 \geq K > 10^4$
II	$10^4 \geq K > 10^3$
III	$10^3 \geq K > 10^2$
IV	$10^2 \geq K > 10$
V	$K \leq 10$

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n.$$

Показатель степени опасности компонента отхода для ОПС К<sub>і</sub> рассчитывается по формуле:

$$K_i = C_i / W_i,$$

где С<sub>і</sub> – концентрация і-го компонента в опасном отходе (мг/кг);

W<sub>і</sub> – коэффициент степени опасности отдельных компонентов отхода.

Для отдельных компонентов отхода коэффициент W<sub>і</sub> установлен постоянным, в соответствии с Критериями, для остальных – рассчитывается по установленному порядку.

Для расчета отнесения отхода к классу опасности для ОПС использован программный модуль серии «Эколог», разработанный ЗАО Научно-производственная

фирма «Логос», г. Новосибирск совместно с фирмой «Интеграл», г. Санкт-Петербург.

Анализом полученных результатов расчетного метода показателя степени опасности (К) для отходов РРС установлено, что отвалы, образуемые в результате вскрышных работ, отвалы радиометрического обогащения относятся к V классу опасности ( $K \leq 10$ );

Для подтверждения отнесения отходов к пятому классу опасности для ОПС, полученного расчетным методом в аккредитованной лаборатории ЦЛАТИ г. Читы, приведен экспериментальный метод исследования проб отходов РРС на двух тест-объектах из ранних биологических групп (дафнии, инфузории). Класс опасности отходов установлен по кратности разведения водной вытяжки, при которой не выявлено токсикологического воздействия на биологические объекты (табл.4). Таким образом, расчетным методом и полученными экспериментальными данными с использованием биотестирования установлено: отходы РРС относятся к V классу опасности для ОПС.

Таблица 4

Результаты токсикологических исследований (биотестирования) проб отходов РРС

Шифр пробы	Тест-объект	Оценка тестируемой пробы			Класс опасности для ОПС
		pH <sub>тек</sub>	Безвредная кратность разведения (БКР)	Острое токсическое действие (ЛРК)	
Отходы (отвал РРС)	<i>Daphnia magna</i>	8,1	1:1 БКР <sup>10-24</sup>	ЛРК <sup>50</sup> Не оказывает	V класс
	<i>Paramecium caudatum ehrenberg</i>	8,1	1:1 БКР <sup>10-24</sup>	ЛРК <sup>50</sup> Не оказывает	

Радиационная безопасность отходов РРС устанавливается по значению эффективной удельной активности ( $A_{эфф}$ , Бк/кг). Лабораторные исследования эффективной удельной активности естественных радионуклидов были проведены в испытательной лабораторном центре ООО «Лаборатория экологических проблем», г. Чита.

Результаты оценки естественных радионуклидов исследуемых отходов переработки сурьмяных руд Жилкошинского месторождения, показали, что все проанализированные образцы следует отнести к I классу минерального сырья, максимальное значение  $A_{эфф}$  389 Бк/кг. Минимальная радиоактивность до 60 Бк/кг характерна для богатых сурьмяных руд. Вмещающие породы с обоих участков имеют  $A_{эфф}$  от 132 до 312 Бк/кг. Техническая характеристика вторичного сырья представлена в табл. 5.

## Технические характеристики вторичного сырья

Наименование характеристического параметра	ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ	ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ
Крупность фракций	5-10 мм 10-15 мм 10-20 мм 15-20 мм 20-40 мм Смеси 5-20 мм	3,0 -3,5 мм 2,5-3,0 мм 2,0-2,5 мм 1,5-2,0 мм 1,0-1,5 мм 0,7-1,0 мм
Содержание пылевидных и глинистых частиц	1-3 %	3-10 %
Марка по дробимости (прочности)	1400, 1200, 1000, 800, 600, 400,300	1400, 1200, 1000, 800, 600, 400
Класс опасности для ОПС: – V класс	$K \leq 10$	$K \leq 10$
Удельная активность природных радионуклидов, $A_{эфф}$ : – I класс строит. материалов – II класс строит. материалов	< 370 Бк/кг < 740 Бк/кг	< 370 Бк/кг < 740 Бк/кг
Компонентный состав отходов	Sb-0,9; SiO <sub>2</sub> -42,7; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -0,71; TiO <sub>2</sub> -0,1; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -6,28; CaO-0,8; MgO-0,2; S-7,3; Pb-0,02; Zn-0,001	Sb-0,9; SiO <sub>2</sub> -42,7; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -0,71; TiO <sub>2</sub> -0,1; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -6,28; CaO-0,8; MgO-0,2; S-7,3; Pb-0,02; Zn-0,001

По результатам расчетов годовая экономия платы по нормативам платежей за размещение отходов радиометрической сепарации V класса опасности составит 131476,95 руб.

### Заключение

В диссертации на основании выявления закономерностей по концентрации и техногенной миграции токсичных и потенциально токсичных элементов на Жипкошинском сурьмяном месторождении – решена актуальная научно-практическая задача обеспечения экологической безопасности рентгенорадиометрической сепарации кварц-антимонитовых руд крупного горнорудного региона Восточного Забайкалья, имеющая существенное народно-хозяйственное значение для данной отрасли производства.

Основные научные и практические результаты и выводы заключаются в следую-

щем:

1. Установлен перечень экологически опасных токсичных и потенциально токсичных элементов и уровень их накопления в первичных кварц-антимонитовых рудах, в рыхлых отложениях – продуктах их разрушения и в биокосном покрове месторождений, сформированных в резко континентальных природно-климатических условиях Восточного Забайкалья, необходимых для учета при разработке технологического регламента.

2. Установлены закономерности концентрации экологически опасных элементов в продуктах РРС - в сурьмяном промпродукте, сурьмяном концентрате и в отходах сепарации, количественное значение которой рассчитывается по предложенной формуле. Это позволяет достоверно на определенном этапе вести контроль содержания токсичных и потенциально токсичных компонентов в отходах, определять степень концентрации токсичных примесей.

3. Обоснован и разработан критерий экологической безопасности технологий, на основе баланса распределения при переводе токсичных и потенциально токсичных компонентов в отходы и концентрат с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности населения.

4. По результатам выполненных исследований предложена патентно-защищенная методология построения экологически безопасной технологической схемы РРС, позволяющей в голове процесса обогащения удалить пустую породу, выход которой составляет 85 %, а также удалить вредные примеси, с целью упрощения последующей технологической переработки руды.

5. Выполненным комплексом расчетов и исследований установлено, что отходы РРС относятся к V классу опасности, что позволяет сделать заключение о том, что отходы могут рассматриваться как вторичное сырье и рекомендовать их для использования в строительной индустрии, что обеспечивает наиболее полное использование недр и отходов производства.

6. С использованием разработанного критерия экологической безопасности и учетом класса опасности обосновано использование текущих отходов радиометрической сепарации в качестве вторичного сырья (строительных материалов), что позволит снизить антропогенную нагрузку перерабатывающего предприятия на ОПС.

Расчетная годовая эколого-экономическая эффективность за счет снижения платы за размещение отходов обогащения сурьмяного производства в окружающую природную среду и учета их использования составит 131476,95 руб.

#### **Направление дальнейших исследований:**

- изучение сурьмяных отходов обогащения (накопленных и текущих) как нетрадиционного минерального сырья для выделения установленных тяжелых металлов;
- экологическое обоснование и разработка флотационной технологии обогащения сурьмяных руд;

– исследование отходов жидкой фазы, определение их степени токсичности, исследование классов опасности.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Сергеевко, Е.Н. Разработка и основные направления создания рациональной технологии переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // ГИАБ. – 2008. – № 6. – С. 186-190.
2. Мязин, В.П., Сергеевко, Е.Н. Оценка эффективности технологических схем переработки сложных по составу сурьмяных золотосодержащих руд в России и за рубежом // ГИАБ. – 2008. – № 6. – С. 159-163.
3. Мязин, В.П., Хантургаева, Г.И., Сергеевко, Е.Н., Мязина, В.И. Оценка экологической безопасности технологий обогащения и переработки минерального сырья Забайкалья. Москва // ГИАБ – 2008. – № 6. – С. 164-180.
4. Пат. 74832 Российская Федерация на полезную модель, МПК В 03 В 7/00. Поточная линия для переработки золото-сурьмяных руд / Мязин В.П., Сергеевко Е.Н. – № 2006147335/22; заявл. 29.12.2006; опубл. 20.07.2008 Бюл. № 20.
5. Сергеевко, Е.Н. Разработка схемы обогащения сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Аспирант: труды молодых ученых, аспирантов и студентов: прил. к «Вестнику читинского государственного университета». – Чита, ЧитГУ, 2007. – С. 158-161.
6. Сергеевко Е.Н. , Мязин В.П. Анализ типов сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья с целью обоснования технологической схемы их обогащения // Обогащение руд: II Всероссийская школа-семинар молодых ученых с международным участием, посвященным 75-летию со дня рождения чл.-кор. РАН С.Б. Леонова. – Иркутск, ИргТУ, 2006. – С. 152-154.
7. Сергеевко, Е.Н. Разработка схемы обогащения сурьмяных руд // Молодежь Забайкалья: Культура здоровья - здоровое общество: X международная молодежная научная конференция: мат-лы конф. – Чита, 2006. – С. 220-222.
8. Сергеевко, Е.Н. Перспективы применения радиометрической сепарации для переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения): мат-лы междунар. совещ.– Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2007. – Ч.1.– С. 565-568.
9. Сергеевко, Е.Н. , Мязин, В.П. Анализ типов сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья // Особенности хозяйственной деятельности на Байкальской природной территории: мат-лы междунар. науч.-практич. конф. –Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. – С. 25-28.

10. Сергеевко, Е.Н. О технологии обогащения сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Кулагинские чтения»: мат-лы конф. Чита: ЧитГУ, 2007. – Ч.1. – С.75-78.
11. Сергеевко, Е.Н., Мязин, В.П. Применение радиометрической сепарации для подготовки руд Жипкошинского месторождения к дальнейшему обогащению // Молодежь Забайкалья: перспектива развития края: материалы XII междунар. молодежной науч.-практич. конф.. – Чита: ЗаБИЖТ, 2008. – Ч.II. – С.126-129.
12. Сергеевко, Е.Н. Разработка экологически безопасной технологии переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Приоритеты и особенности развития Байкальского региона: Материалы III международной науч.-практич. конф., посвященной году планеты Земля и 85-летию Республики Бурятия. – Улан-Удэ: БНЦ СОРАН, 2008. – С. 359-360.
13. Сергеевко, Е.Н. Применение радиометрической сепарации для переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Современные проблемы обогащения глубокой и комплексной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения): мат-лы междунар. совещ. – Владивосток, 2008. – С. 113-116.
14. Сергеевко, Е.Н. Критерии экологической оценки технологических схем при обогащении сурьмяных руд // Материалы четвертой международной конференции. Актуальные проблемы Экологической геологии Наука и образование. Экологогеология – 2008: мат-лы конф. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 170-172.
15. Сергеевко, Е.Н. Анализ экологической безопасности технологии переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Молодежь и наука Забайкалья: мат-лы молодеж. науч. конф. – Чита, ЗабГПУ, 2008. – С. 111-112.
16. Сергеевко, Е.Н. Исследование радиометрической сепарации с целью применения для обогащения сурьмяных руд Восточного Забайкалья // VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Кулагинские чтения»: мат-лы конф. – Чита, ЧитГУ, 2008. – Ч.1. – С. 111-112.
17. Сергеевко, Е.Н. Оценка экологической безопасности технологических схем при переработке сурьмяных руд // Проблемы устойчивого развития региона: материалы V школы-семинара молодых ученых России.– Улан-Удэ, БНЦ СОРАН, 2009. – С. 233-235.
18. Сергеевко, Е.Н. Оценка экологической безопасности технологий переработки сурьмяных руд // Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья (Плаксинские чтения): мат-лы, междунар. совещ. – Новосибирск, ИГД СО РАН, 2009. – С. 215-218.

Лицензия ЛР № 020525 от 02.06.97  
Подписано в печать 23.11.2009 г. Формат 60×84 1/16  
Усл. печ. л.1,2 Тираж 100 экз. Заказ № 158

---

Читинский государственный университет  
ул. Александрo-Заводская, 30, г. Чита, 672039

---

РИК ЧитГУ