

*На правах рукописи*

**Целюк Денис Игоревич**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗОЛОТВАЛОВ  
СРЕДНЕЙ СИБИРИ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2009

Работа выполнена в Красноярском научно-исследовательском институте геологии и минерального сырья (ГПКК «КНИИГиМС»)

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук  
Кузькин Вячеслав Иванович

Официальные оппоненты – доктор геолого-минералогических наук  
Ожогина Елена Германовна

доктор геолого-минералогических наук  
Лыгина Талия Зинуровна

Ведущая организация – Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова

Защита состоится 13 ноября 2009 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС»

Автореферат разослан «\_\_\_\_» октября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат геолого-минералогических наук

Шурига Т.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** На сегодняшний день теплоэнергетика является неотъемлемой частью развития мировой промышленности. В то же время с развитием топливно-энергетического комплекса встают серьезные проблемы, связанные с охраной окружающей среды от загрязнения вредными веществами. Воздействие энергетики на окружающую среду происходит на всех этапах и во всех звеньях энергетического производства и носит специфический характер для каждой подотрасли.

С ростом количества крупных энергетических объектов и целых энергокомплексов возрастают объемы золошлаковых отходов электростанций. Это влечет за собой увеличение площадей золоотвалов, в пределах которых они складированы, транспортируясь гидравлическим путем в виде пульпы.

Построенные 20-30 лет тому назад золоотвалы не оснащены надежными конструкциями, обеспечивающими защиту подземных вод от загрязнения. В связи с этим эксплуатация золоотвалов сопровождается утечками токсичного фильтрата, в результате которых происходит загрязнение подземных вод.

В свою очередь, степень загрязнения подземных вод определяется составом размещаемых отходов, качеством фильтрационных вод, направленных из золоотвала, защитными свойствами геологической среды, а также особенностями поведения химических компонентов в пределах подземных водоносных горизонтов. В настоящее время недостаточная изученность особенностей техногенного процесса, определяющего загрязнение подземных вод, и отсутствие соответствующей информации не позволяют выполнить объективную оценку техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды.

Таким образом, изучение особенностей процесса, определяющих воздействие золоотвалов на подземные воды, позволит осуществлять безопасную эксплуатацию данных объектов, повысить точность прогноза их воздействия на гидрогеологическую среду, своевременно разрабатывать и выполнять мероприятия по защите подземных вод от техногенного воздействия, что является весьма актуальным для регионов Средней Сибири.

**Цель работы.** Выявление особенностей техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды и организация комплексного геоэкологического мониторинга подземных вод в районе золоотвалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучение вещественного состава золовых отходов и их типизация по минеральному и химическому составу.
2. Изучение особенностей изменения вещественного состава в вертикальном разрезе массивов золовых отложений с выделением групп компонентов загрязняющих подземные воды.
3. Выделение миграционно-активных групп загрязняющих веществ в техногенном водоносном горизонте рабочих секций золоотвалов и изучение их поведения в подземных водоносных горизонтах.

4. Разработка основных положений оценки техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды.

5. Организация комплексного геоэкологического мониторинга, системы «золоотвал – подземные воды».

**Фактический материал.** Работа выполнена в Красноярском научно-исследовательском институте геологии и минерального сырья (ГПКК «КНИИГиМС») в рамках государственного контракта «Осуществление мониторинга подземных вод в зоне влияния промышленных отвалов предприятий Красноярского края». Материал собран автором на следующих объектах:

- *Красноярский край:* золоотвал Минусинской ТЭЦ, золоотвал Канской ТЭЦ, золоотвал Назаровской ГРЭС, золоотвал Березовской ГРЭС, золоотвал Красноярской ТЭЦ-1, золоотвал Красноярской ТЭЦ-2, золоотвал Красноярской ТЭЦ-3, золонакопитель ОАО «Крастяжмашэнерго», золоотвал ОАО «КрамзЭнерго», золоотвал ОАО «Красмаш».

- *Республика Хакасия:* золоотвал Абаканской ТЭЦ.

В процессе исследований изучено более 400 проб золowych отложений из золоотвалов ТЭС, 500 проб подземных вод из сети наблюдательных скважин золоотвалов, 80 проб поверхностных вод и 50 проб донных отложений из водотока в зоне влияния золоотвала Красноярской ТЭЦ-3. Общее количество выполненных анализов, включая результаты водных, кислотных вытяжек и экспериментальных исследований, составило более 3000 определений.

В работе использованы результаты исследований физических свойств золowych отложений (лаборатория физико-механических исследований ОАО проектно-изыскательский институт «Красноярскгидропроект»), химических и спектральных полуколичественных анализов (аналитический отдел «Аккредитованный испытательный центр ОАО «Краснояскгеология» по полезным ископаемым, металлам и сплавам»), рентгенофазовых, термогравиметрических, локальных рентгеноспектральных анализов, растровой электронной микроскопии (минералогический отдел Институт химии и химической технологии СО РАН), количественного спектрального атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного анализа, масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS) (аккредитованная аналитическая лаборатория ГПКК «КНИИГиМС»).

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследований:

**1. Методы определения физических свойств веществ.**

**2. Оптической микроскопии (петрографический, оптико-минералогический)** для изучения особенностей минерального состава золowych отложений в золоотвалах. Аппаратура: поляризационные микроскопы Полам Р-211 (Россия), Olympus ВХ 51 (Япония).

**3. Рентгенофазовый анализ (РФА)** для диагностики минералов и определения минерального состава золowych отходов. Аппаратура:

рентгеновский дифрактометр ДРОН-3 (Россия). Расшифровка проводилась с использованием картотеки эталонных порошковых спектров JCPDS.

**4. Термогравиметрический анализ** для определения состава и физико-химических свойств золотых отложений. Аппаратура: дериватограф Q – 1000 D (Венгрия).

**5. Электронная микроскопия и локальный рентгеноспектральный анализ** для определения форм нахождения первичных минералов, выявления особенностей образования вторичных агрегатов, идентификация включений в минералах. Выявление тонких особенностей их строения. Аппаратура: растровый электронный микроскоп JEOL JSM-7001F (Япония) и РЭМ-100У (Россия) с волновым рентгеновским спектрометром СПЕКТРОСКАН.

**6. Спектральный полуколичественный** для выявления малых элементов в золотых отложениях, определения уровня их фоновых содержаний. Аппаратура Дифракционный спектрограф ДФС-4 (Россия).

**7. Атомно-эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный, масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой (ISPM-MS)** для определения количественного содержания геохимических элементов в золотых отложениях, изучения закономерностей распределения в разрезе золотых массивов и подстилающих их грунтах, определение содержания элементов в техногенных и подземных водах. Аппаратура: спектральный атомно-эмиссионный комплекс «ГРАНД», атомно-абсорбционный спектрометр SOLAAR – S, ИСП-масс-спектрометр ELAN 9000.

#### **Научная новизна работы.**

Впервые на территории Средней Сибири проведена типизация золотых отходов по минеральному, химическому и элементному составу.

Изучен вещественный состав золотых отходов в вертикальном разрезе золотых массивов Средней Сибири. Впервые установлено зональное строение золотой толщи, обусловленное преобразованием золотых отходов в приконтактной зоне с подстилающими их грунтами, и выделены основные геохимические ассоциации элементов, загрязняющие подземные воды.

Впервые для золоотвалов Средней Сибири разработана модель комплексного геоэкологического мониторинга системы «золоотвал – подземные воды».

#### **Практическая значимость.**

Выявлены аномальные геохимические зоны в основании золотого массива, являющиеся источником формирования геохимических ассоциаций элементов, загрязняющих подземные воды.

Разработана система комплексного анализа и прогноза техногенного загрязнения, которая используется при экологической оценке деятельности по обращению с золотыми отходами Красноярской ТЭЦ-3 и Назаровской ГРЭС.

Реализуется система государственного комплексного мониторинга, позволяющая осуществлять прогноз техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды.

**Личный вклад.** Автором проведено полевое обследование всех основных золоотвалов Средней Сибири. В процессе выполнения полевых работ организовано и проведено бурение золовых массивов на золоотвалах Средней Сибири, отобраны пробы золотого материала, для последующего изучения в лабораторных условиях. В результате выполнения полевых и лабораторных работ получен уникальный материал по особенностям преобразования вещественного состава золовых отходов в зоне контакта золовых массивов и подстилающих их грунтов. Лично автором проведена камеральная обработка результатов лабораторных аналитических исследований. На основе полученных данных в 2008 г. разработан «Проект краевого мониторинга подземных вод в Красноярском промышленном центре и зонах влияния промышленных отвалов предприятий». Проект получил положительную оценку ведущих геологических организаций Красноярского края и Сибирского федерального округа, а также был согласован с Управлением федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Красноярскому краю и Управлением по недропользованию по Красноярскому краю.

**Апробация работы и публикации.**

Основные положения диссертационной работы изложены в 7 печатных работах, в том числе одна статья - в реферируемом журнале. Результаты исследований неоднократно обсуждались на заседаниях Ученого Совета ГПКК «КНИИГиМС» и на научно-практических конференциях и совещаниях: Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы, проблемы и решения» (Красноярск, СибГТУ, 2005 г.), Эколого-юридическом форуме «Проблемы реализации права граждан на благоприятную окружающую среду: теория и практика» (Красноярск, СФУ, 2008 г.), IV Всероссийской научно конференции «География, история и геоэкология Сибири» (Красноярск, КГПУ имени В.П. Астафьева, 2009 г.).

**Структура, объем и содержание работы.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (130 наименований). Общий объем работы составляет 162 страницы, в том числе 31 рисунок и 10 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору геол. - мин. наук В.И. Кузькину за помощь и внимание в работе над диссертацией. За ценные советы и обсуждения автор выражает искреннюю благодарность д.т.н. Г.И. Кузнецову (ПИ СФУ), д.с.х.н. Л.Р. Мукиной, к.г.-м.н. А.П. Романову, к.г.-м.н. С.А. Измайловой (ГПКК «КНИИГиМС»), к.т.н. А.Н. Кокорину (СибГТУ). Особую благодарность за помощь в проведении минералогических и аналитических исследованиях автор выражает сотрудникам Института химии и химической технологии СО РАН к.х.н. А.М. Жижаеву и В.Ф. Каргину, ОАО Проектно-изыскательного института «Красноярскгидропроект» С.И. Бурову, а также сотрудникам аналитической лаборатории ГПКК «КНИИГиМС» С.Н. Шведовой, А.П. Соловьевой, Л.И. Потапенко, Л.К. Вороновой. Искреннюю признательность за помощь в организации и проведении полевых работ автор выражает А.Н. Брацуну.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.**

Во введении обоснована актуальность работы, обозначены цели, задачи, показана научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В **первой главе** проведен анализ исследований воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды, и представлена методика выполнения работы. Во **второй главе** дана характеристика золоотвалов Средней Сибири. Показаны общие физико-механические свойства золотого материала, складываемого на золоотвалах, представлены гидрогеологические условия и защищенность подземных вод в районах их размещения. В **третьей главе** приведены результаты исследований химического, элементного и минерального состава зол из золоотвалов Средней Сибири. На основе этого приведена типизация золоотвалов. В **четвертой главе** изложены результаты изучения вещественного состава зол в вертикальном разрезе золотой толщи. Выделены геохимические ассоциации элементов, загрязняющих подземные воды. В **пятой главе** на основе полученных результатов исследований разработана система комплексного анализа как основы прогноза и оценки техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды. На золоотвале Красноярской ТЭЦ-3 проведена апробация предложенной системы. На основе этого разработана система комплексного мониторинга, которая в настоящее время реализуется на территории Красноярского края.

**1. На ТЭЦ Средней Сибири установлено два типа золоотвалов с различным минеральным и химическим составом, зависящим от сжигаемого топлива: кремнистые – Красноярские ТЭЦ и Назаровская ГРЭС, использующие угли Назаровского и Бородинского месторождений, и кальциевые – Березовская ГРЭС, потребляющая сырье с одноименного угольного разреза. Минералого-геохимические особенности отвалов определяют специфику и интенсивность экологического воздействия на окружающую среду.**

В химическом составе зол, размещаемых на золоотвалах Средней Сибири, основными компонентами являются оксиды кальция, кремния, железа и алюминия. Содержание кальция и кремния достигает 15 – 40 %, железа – до 10 %, алюминия – до 9 %. Количество остальных элементов составляет менее 5 %.

Сопоставление особенностей химического состава зол представлено на трехкомпонентной диаграмме (рис. 1). На диаграмме показаны взаимоотношения основных компонентов в золовых отходах теплоэнергетики. При построении диаграммы сумма оксидов приведена к 100%.

Фигурные точки на диаграмме образуют два поля. Поле 1 включает в себя суммы компонентов, принадлежащих золам из крупных накопителей Назаровской ГРЭС, Красноярской ТЭЦ-1, Красноярской ТЭЦ-2, Красноярской ТЭЦ-3, а также из золоотвала предприятия ОАО «КрамзЭнерго», золоотвала ООО «Крастяжмаш», золоотвала Абаканской ТЭЦ и золоотвала Минусинской ТЭЦ.

Расположение показателей приурочено к зоне кремнистых пород. Поле 2 образовано показателями зол Березовской ГРЭС. Выявленная группа расположена в зоне высококальциевых пород. Таким образом, исследуемые золовые отходы подразделяются на высококальциевую и кремнистую группы.

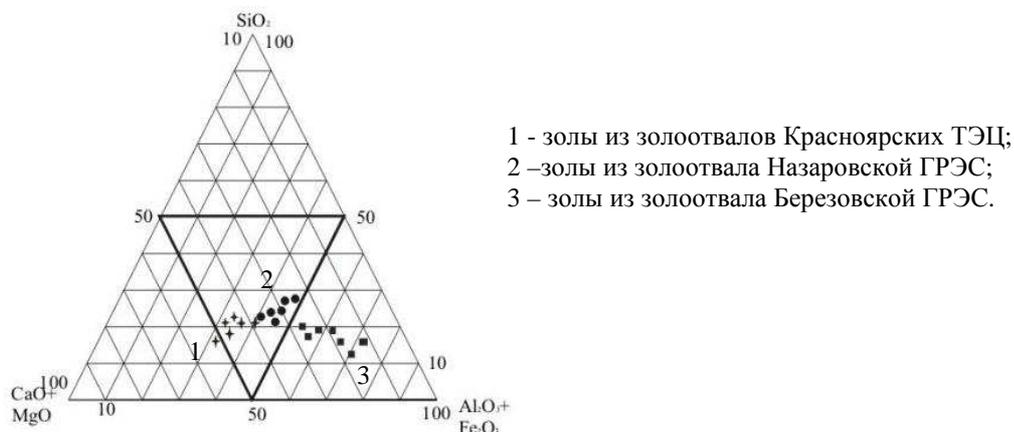


Рис. 1. Трехкомпонентная диаграмма суммарного химического состава зол.

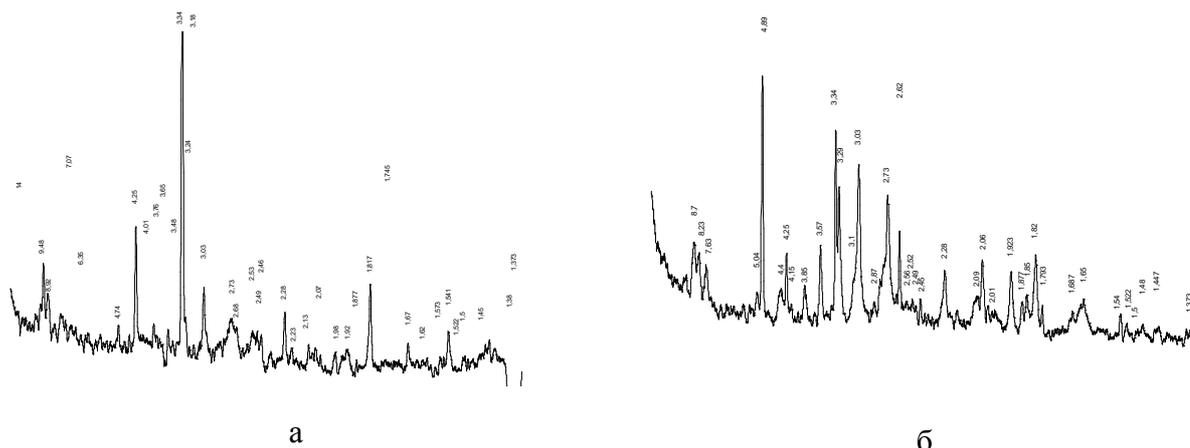
Особенности состава зол объясняются качественным составом топлива. Источником образования золовых отходов являются угли Канско-Ачинского угольного бассейна, которые по показателю зольности делятся на два типа. Наименее зольные угли бассейна сосредоточены на ограниченных площадях Березовского месторождения и представлены углем с зольностью 5-6 %. Зольность углей Назаровского и Бородинского месторождения превышает зольность углей Березовского месторождения почти в два раза и составляет 8-12%. Таким образом, существующие закономерности соотношения зольности в углях отражаются и при сопоставлении кремнистых и кальциевых соединений и в золовых отходах.

**Исследования минерального состава зол** показали, что основная их масса представлена кварцем, карбонатами и железистыми минералами. Доля переплавленной кремнистой массы и кварца в исследуемом материале достигает 70 %, в то время как доля карбонатов кальция составляет 20-25 %. Такое соотношение отчетливо фиксируется рентгенофазовым анализом, проведенным в процессе выполнения исследований зол из золоотвалов Красноярских ТЭЦ, Назаровской и Березовской ГРЭС (рис. 2).

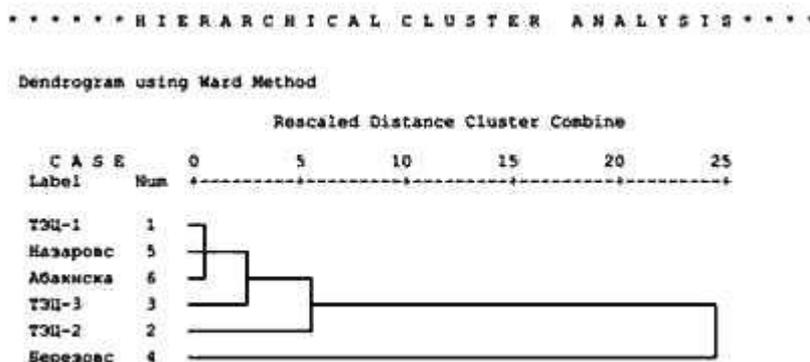
Железистые минералы золовых отложений представлены в основном магнетитом, гематитом и железистыми глобулами. Об этом свидетельствуют проявления на дифрактограммах пиков магнетита  $d$  2,97; 2,53 Å и пики гематита  $d$  2,69; 2,52; 1,48 Å (рис. 2). Значительно реже отмечаются гидроксиды железа и сидерит.

В золах распространены железистые глобулы, имеющие плотное строение и полые алюмосиликатные сферы.

В подчиненных количествах до 5 % в золах встречается ряд первичных минералов. Полный перечень минералов приведен в таблице 1.



**Рис. 2. Дифрактограммы проб золовых отложений из золоотвалов Средней Сибири.**  
 а – золы из золоотвала ОАО «КрамзЭнерго»; б – золы из золоотвала Березовской ГРЭС.



**Рис. 3. Дендрограмма дистанционного распределения зол по результатам кластерного анализа.**

В золах также выделяется большая группа минералов, образованных в результате гипергенных процессов. Это глинистые (каолинит, монтмориллонит) и новообразованные минералы (гипс, цеолиты, портландит, алюминит, таумасит, гетит).

Кроме первичных и вторичных фаз в золоотвалах встречены и минералы биогенного происхождения. Присутствие биогенного ватерита в золовых отходах Красноярского края впервые обнаружено автором на золоотвале Березовской ГРЭС. Наличие ватерита установлено методом рентгенофазового анализа. На дифрактограммах ватерит четко проявляется пиками  $d$  3,29; 2,73; 2,06 Å.

Установлено, что доля кварца в золах Березовской ГРЭС в два раза меньше, чем в золах Красноярских ТЭЦ и Назаровской ГРЭС. Кроме этого, для зол Березовской ГРЭС характерно широкое развитие портландита. Общая доля карбонатов кальция и портландита в два раза превышает содержание карбоната кальция в остальных золах. Также золы Березовской ГРЭС характеризуются присутствием минимального набора остаточных первичных минералов.

Исследования микроэлементного состава зол Средней Сибири методом рентгеноспектрального анализа показали, что в них проявляются более 20 различных элементов, из которых постоянно присутствуют только 13: V, Cr, Ti, Pb, Cu, Ba, Sr, Li, Mo, Zn, Co, Ni, Mn.

С целью выявления взаимосвязи между золовыми отходами изучен геохимический массив содержаний элементов, постоянно присутствующих в исследуемых золовых отходах. Всего исследовано 270 проб. Обработка массива выполнялась методом кластерного анализа. В результате обработки массива данных выделено две группы золовых отходов. Первая группа представлена золами из золоотвалов Красноярских ТЭЦ, Назаровской ГРЭС, Абаканской ТЭЦ. Вторая группа представлена золами, размещаемыми в золоотвале Березовской ГРЭС.

Результаты обработки геохимических данных корреляционного анализа позволили установить следующие группы. Первая группа включает ассоциации геохимических элементов из золовых отложений Назаровской ГРЭС и Красноярских ТЭЦ. В составе этой группы выделены три ассоциации: Co – Ni – Mn, Ti – V – Cr, Pb – Zn. Вторая группа представлена золами Березовской ГРЭС и включает следующие ассоциации: V – Ti – Cr – Pb, Co – Cu, Zn – Ni.

Как видно из представленного материала, при исследовании микроэлементного состава золовых отходов также подтверждается проявление двух групп.

Таким образом, в результате исследования вещественного состава золовых отходов на территории Средней Сибири установлено два типа отходов размещаемых в гидрозолоотвалах.

**2. Комплексом минералого-аналитических методов установлена вертикальная техногенная зональность, характеризующаяся последовательным изменением алюмосиликатов, карбонатов и оксидов железа, формированием в основании толщи вторичных гидрогетита, кальцита, цеолитов и глинистых минералов. Минералогические изменения сопровождаются накоплением в нижней части отвалов высоких концентраций широкого спектра металлов, в том числе токсичных.**

Для получения полной информации об особенностях формирования золотого массива автором организовано бурение техногенных отложений на золоотвалах Березовской ГРЭС, Назаровской ГРЭС, Красноярской ТЭЦ-3 и ОАО КрамзЭнерго. Мощность вскрытых разрезов составила от 8 до 14 м по всей толщии золовых отложений с заглублением в подстилающие грунты на 2,5 – 4,5 м.

Исследования фильтрационных свойств золотой толщи показали, что верхние слои золовых отложений характеризуются постоянной пористостью, плотностью грунтов, естественной влажностью. Фильтрационные свойства золы обусловлены равномерно протекающими процессами.

В нижних горизонтах золовых толщ, расположенных в основании золоотвала, фильтрационные способности зол возрастают, а также увеличивается их влажность и уменьшается плотность.

## Минеральный состав золотых отложений Средней Сибири

Тип минера-лов	Минералы золотых отложений из золотоотвалов					
	Красноярская ТЭЦ-1	Красноярская ТЭЦ-2	Красноярская ТЭЦ-3	КрамзЭнерго	Назаровская ГРЭС	Березовская ГРЭС
Основная масса	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса с примесью халцедона	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса с примесью калишпатов	Изотропная расплавленная кварцевая стекловатая масса с примесью ксеноморфных кварцевых зерен и калишпатов
Первичные	<p>Полевой шпат Гематит (<math>Fe_2O_3</math>) Магнетит (<math>Fe_3O_4</math>) Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> Монацит (<math>Ce,La...</math>)<math>PO_4</math> Бурые хлоритовые агрегаты Сфен <math>CaTi[SiO_4]O</math> Пироксен <math>CaMg[Si_2O_6]</math> <math>CaFe[Si_2O_6]</math> Лейкоксен <math>mTiO_2 \cdot nSiO_2</math> Бадделеит <math>ZrO_2</math> Роговая обманка <math>Ca_2Na(Mg,Fe'')_4(Al,Fe'')[Si_3Al_4O_{11}]_2[OH]_2</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) <u>Альбит</u> <math>NaAlSi_3O_8</math> <u>Анортит</u> <math>Ca[Al_2Si_2O_8]</math> Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> Эпидот <math>Ca_2(Al,Fe)_3[Si_2O_7]</math></p>	<p>Полевой шпат Угловатые обломки Лимонитизированные и лейкоксенизированные рудные образования Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> Роговая обманка <math>Ca_2Na(Mg,Fe'')_4(Al,Fe'')[Si_3Al_4O_{11}]_2[OH]_2</math> Актинолит <math>Ca_2(Mg,Fe'')_5[Si_4O_{11}][OH]_2</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) Биотит <math>K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2</math></p>	<p>Полевой шпат Рудные минералы: гематит (<math>Fe_2O_3</math>) магнетит (<math>Fe_3O_4</math>) Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) <u>Анортит</u> <math>Ca[Al_2Si_2O_8]</math> Плагиоклазы</p>	<p>Полевой шпат Рудные минералы: гематит (<math>Fe_2O_3</math>) магнетит (<math>Fe_3O_4</math>) Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) <u>Анортит</u> <math>Ca[Al_2Si_2O_8]</math> <u>Клинохлор</u> <math>((Mg,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8)</math> Мусковит <math>KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2</math></p>	<p>Полевой шпат Рудные минералы: гематит (<math>Fe_2O_3</math>) магнетит (<math>Fe_3O_4</math>) Эпидот <math>Ca_2(Al,Fe)_3[Si_2O_7][SiO_4][OH]</math> Лейкоксен <math>mTiO_2 \cdot nSiO_2</math> Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> Пироксен <math>CaMg[Si_2O_6]</math> <math>CaFe[Si_2O_6]</math></p>	<p>Полевой шпат Рудные минералы: гематит (<math>Fe_2O_3</math>) магнетит (<math>Fe_3O_4</math>) Апатит <math>Ca_5[PO_4]_3Cl</math> Пироксен Турмалин <math>(Na,Ca)(Mg,Al)_6[B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}]</math> Ортит <math>(Ca,Ce)_2(Al,Fe)_3[Si_2O_7][SiO_4]O[O,OH]</math> <u>Кварц</u> (<math>SiO_2</math>) Мусковит <math>KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2</math></p>

Тип минералов	Минералы золотых отложений из золоотвалов					
	Красноярская ТЭЦ-1	Красноярская ТЭЦ-2	Красноярская ТЭЦ-3	КрамзЭнерго	Назаровская ГРЭС	Березовская ГРЭС
Вторичные	Гидрооксид железа ( $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Карбонаты Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Гетит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Родезит ((Ca,K,Na) $_8$ Si $_{16}$ O $_{40}$ · 11H $_2$ O)	Гидрооксид железа ( $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Цеолиты Карбонаты Таумасит ( $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4)12\text{H}_2\text{O}$ ) Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) Дачиардит ((Ca,K $_2$ ,Na)Al $_2$ Si $_{12}$ O $_{28}$ 6H $_2$ O)	Гидрооксид железа ( $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) Родезит ((Ca,K,Na) $_8$ Si $_{16}$ O $_{40}$ · 11H $_2$ O) Алюминит ( $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ) Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) Каолин ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) Шабазит ( $\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )	Гидрооксид железа ( $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Гидрослюдистые карбонатные обломки Цеолиты Карбонат Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	Гидрооксид железа ( $\text{HFeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Гидрослюдистые мелкие скопления коллоидальных сферолитов Красно-коричневые коломорфные зерна Бурые комковатые глинистые агрегаты Цеолитовые сферы Портландит ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) Дачиардит ((Ca,K $_2$ ,Na)Al $_2$ Si $_{12}$ O $_{28}$ 6H $_2$ O) Натриевый дачиардит ((Ca,K,Na $_4$ )Al $_4$ Si $_{20}$ O $_{48}$ 13,43H $_2$ O) Таумасит ( $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4)12\text{H}_2\text{O}$ ) Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
Биогенные минералы					Ватерит ( $\text{CaCO}_3$ )	Ватерит ( $\text{CaCO}_3$ )

Химический состав золowych отложений характеризуется высокой щелочностью с показателем  $pH = 10$  ед. При этом наиболее высокощелочная зона с показателем  $pH = 12$  ед. установлена в основании золowego массива.

Золы по всему вертикальному разрезу характеризуются высокими концентрациями Ca, Si, Fe, Al, Mg.

Присутствие кремния в золowych массивах в среднем составляет до 30 %. Исключением является золоотвал Березовской ГРЭС, в котором его содержание не превышает 18 %. Это характерно для всей вскрытой мощности золowego массива.

Железо, алюминий, магний равномерно распределены по всей золовой толще. Содержание железа и алюминия составляет не более 10%, а магния около 7 %. Исследования водных вытяжек показали, что поведение железа, алюминия и магния в золовой толще несущественно отличается от валового распределения элементов

Распределение кальция в золowym массиве существенно отличается от других элементов. В верхних слоях золowych отложений его содержание составляет 25-30 %. Максимальное количество кальция 32 – 35 % проявляется в горизонтах золowych образований, расположенных в основании золоотвалов. Распределение кальция в водорастворимой форме по вертикальному разрезу согласуется с поведением его валового содержания.

Калию и натрию свойственны малые концентрации по разрезу, не превышающие 1 – 1,5 %.

Минеральный состав золowych отложений характеризуется неоднозначным поведением разных минеральных групп в разрезе золowych толщ золоотвалов Средней Сибири.

По данным рентгенофазовых анализов, распределение кварца и кремнистой массы носит равномерный характер по всем вертикальным разрезам золowych массивов. Содержание кварца от общей массы золы по всей глубине разреза составляет около 50 %.

Железистые минералы золowych отложений представлены в основном магнетитом и гематитом. По разрезам золowych толщ они распределены равномерно. Об этом свидетельствуют результаты рентгенофазового анализа. В нижних горизонтах зол гематит подвергается существенному физико-химическому изменению. На поверхности зерен гематита активно развиваются гетит и гидрогетит в виде землистых масс, оолитовых и натечных образований.

Кроме магнетита и гематита в золовой массе присутствуют железистые и алюмосиликатные глобулы, в основном представленные правильными сферическими формами.

Электронно-микроскопические исследования показали, что железистые глобулы в верхних слоях обладают гладкой поверхностью со слабо развитыми вторичными формами кальцита и гипса (рис. 4а). В нижних слоях отмечается увеличение их количества. Глобулы подвергаются частичному разрушению, что проявляется в развитии на их поверхностях пористости, проникающей вглубь стенок. Кроме этого на поверхности железистых глобул развиваются

вторичные минералы, которые покрывают ее плотным слоем пластинчатых, игольчатых и дендритовых образований (рис. 5а).

Микросферы аллюмосиликатного состава распространены по всей мощности золых толщ. В верхних горизонтах в основном преобладают гладкие аллюмосиликатные сферы. В нижних горизонтах они претерпевают значительные химические разрушения. Активное выщелачивание приводит к формированию пористой структуры их поверхности, а в ряде случаев к полному разрушению стенок сфер. На их месте, в процессе химического преобразования, активно формируются минералы глинистой и цеолитовой групп, которые чаще всего имеют таблитчатую форму (рис. 5в).

Количество кальцита в пробах, из верхних слоев золых отложений составляет около 20 %. В горизонтах, расположенных в основании золоотвала, его содержание увеличивается в два раза и достигает 40 %, что подтверждается рентгенофазовым методом.

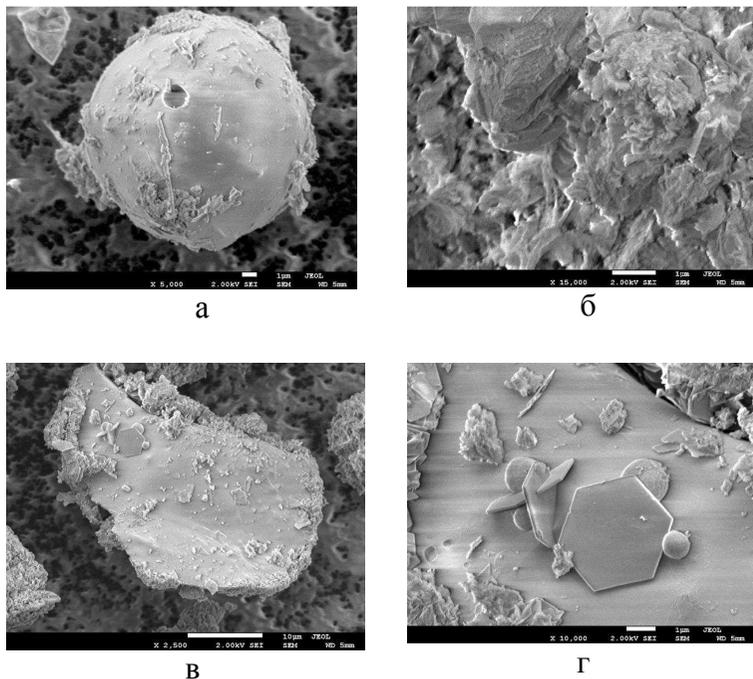
Электронно-микроскопические исследования зол установили, что в верхних горизонтах золых массивов, кристаллы кальцита часто проявляются в виде спайных ромбоэдров (см.рис. 4 б). В золах из нижних слоев отмечается вторичное преобразование кальцита, проявляющееся в разрушении отдельных зерен минерала и образовании на их месте чешуйчатых и хлопьевидных масс (см.рис. 5 б).

Полевые шпаты в верхних горизонтах золых массивов представлены альбитом и анортитом. Минералы имеют в основном сложные неправильные формы (см.рис. 4в). На них видны тонкие трещинки вдоль спайности, по которым развиваются глинистые агрегаты (см.рис. 4г). В нижних горизонтах присутствие анортита и альбита резко уменьшается. Их поверхности покрыты мелкими порами неправильной формы. Через них щелочные, минеральные растворы проникают в глубь зерен, что способствует разрушению полевых шпатов (см.рис. 5г). В результате разрушения образуются кальцит, каолинит, монтмориллонит, алюминит. Наличие данных форм зафиксировано в результате проведения рентгенофазового и термогравиметрического анализа.

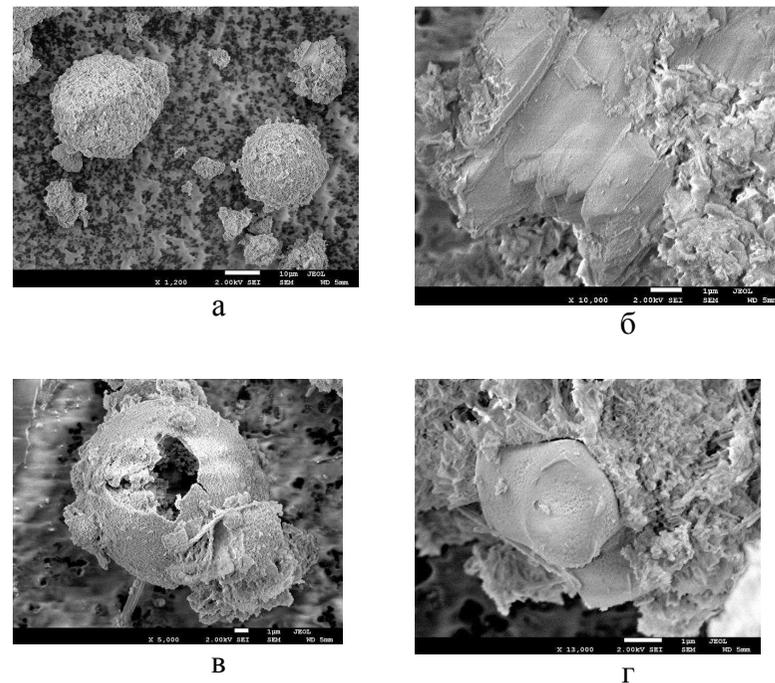
В нижних горизонтах в виде новообразованных форм образуются гипс, порландит и цеолиты.

Об активности образования и развития вторичных минералов в нижних горизонтах золых массивов свидетельствует и широко развитая кристаллизация минеральных форм в дренажных системах. В результате поступления в систему пересыщенных растворов внутренние стенки труб начинают интенсивно покрываться образованиями кальцита, гипса, в меньшей степени – светло-коричневыми натечными формами гетита и гидрогетита.

Среди микроэлементов в золых отложениях, контактирующих с подстилающими грунтами высокого уровня валового накопления достигают Ba, Sr, Li, Ti, V, Cr, Co, Ni, Mn, Mo. С переходом в подстилающие суглинки их валовое содержание резко уменьшается. Максимальные концентрации сохраняют Pb, Cu, V, Zn.



**Рис. 4. Формы выделения минералов в верхних горизонтах золовых толщ в золоотвалах Средней Сибири.**  
 а – железистые глобулы; б - спаянные ромбоэдры кальцита; в – полевой шпат; г – глинистые минералы на поверхности полевого шпата.

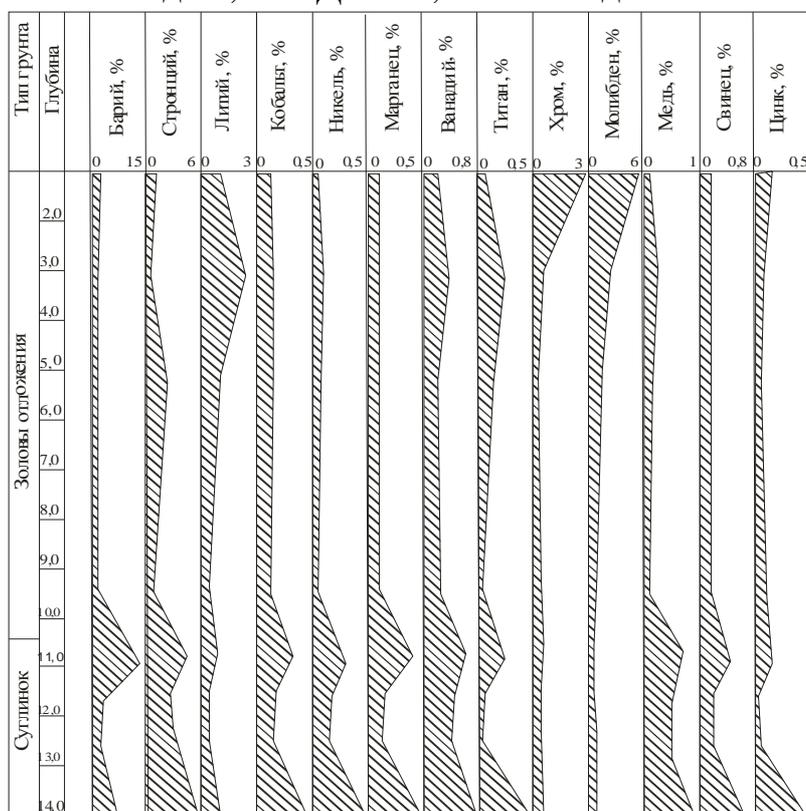


**Рис. 5. Преобразованные первичные (реликты) минералы в нижних горизонтах золовых массивов.**  
 а – железистые глобулы, покрытые вторичными минералами; б – разрушение кальцита с образованием хлопьевидных масс; в – разрушение алюмосиликатных глобул с образованием вторичных минералов; г – пористость на поверхности полевого шпата.

Как показывают исследования водорастворимых форм, в нижних горизонтах увеличивается степень растворимости Ba, Sr, Co, Ni, Mn, V, Ti, Cu, Pb и Zn.

Установлено, что поведение элементов, входящих в состав геохимических ассоциаций, не является однотипным. Ряд элементов характеризуется ростом концентраций в основании золотых массивов, а другие элементы распределены равномерно по разрезу толщи зол.

Расчеты распределения водорастворимых форм в процентном соотношении от валового содержания показывают зону активного обогащения техногенных вод микроэлементами в золотых массивах золоотвалов Средней Сибири. На рис. 6 данная зона наглядно проявляется в виде резкого всплеска распределения на глубине 9,5 – 11 м, расположенной в основании золоотвала ОАО «КрамзЭнерго». Техногенные воды в нижних слоях золотого массива активно обогащаются Ba, Sr, Co, Ni, Mn, V, Ti, Cu, Pb и Zn. Доля растворения от общей массы составляет до 1,5 %. Для Cu, Ba и Sr – достигает 15 %.



**Рис. 6. Распределения водорастворимых форм элементов в процентном соотношении от их валового содержания в золоотвале ОАО КрамзЭнерго.**

Обращает на себя внимание в этой зоне поведение Li, Mo, Sr. Попадая в данный горизонт, они практически полностью теряют свои миграционные способности и осаждаются в этих слоях золотых отложений. Как показали полученные распределения, мощность зоны обогащения составляет 2,5 – 3 м в зависимости от мощности золотого массива.

Выполненный статистический анализ значений концентраций микроэлементов в золотых массивах показал, что их взаимосвязи в нижних горизонтах золотых толщ изменяются. Первичные ассоциации геохимических

элементов, присущие верхним частям разреза золотых массивов, преобразуются в новые ассоциации. Графическое построение корреляционных профилей по матрице парных коэффициентов корреляции позволяют выделить три основные геохимические ассоциации. Первая ассоциация представлена Sr – Co – Ni – Cu – Ti. Вторая ассоциация включает V – Ba – Mn – Zn – Pb, а третья Cr – Mo – Li.

**3. Загрязнение подземных вод в районе воздействия золоотвалов определяется активностью элементов установленных геохимических ассоциаций: V-Ba-Mn-Pb; Sr-Co-Ni-Cu-Ti; Cr-Mo-Li. Основной оценки и прогноза техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды является комплексный мониторинг системы «золоотвал-подземные воды», включающий наблюдения за процессами формирования техногенных гео- и гидрохимических аномалий в массиве золотых отходов и их распределением в подземных водах.**

Золоотвалы являются техногенными объектами, активно загрязняющими подземные воды. При фильтрации из золоотвалов техногенные воды проходят через грунты, залегающие под хранилищем, по направлению вертикально вниз, затем достигая горизонта подземных вод, смешиваются с ним и далее распространяются по его направлению. При смыкании техногенного фильтрата и природного подземного водоносного потока грунтовых вод образуется купол растекания фильтрационных вод. Формируется постоянная связь золоотвала и подземного водоносного горизонта. В результате этого процесса золоотвал и подземные воды из отдельных элементов техногенной и природной системы образуют взаимосвязанный комплекс «золоотвал – подземные воды». Для изучения взаимоотношений в данной системе необходимо использовать комплексный подход.

Результаты исследований позволяют выделить следующие составные звенья, входящие в процедуру комплексной оценки воздействия золоотвалов на подземные воды:

- изучение геоэкологических и гидрогеохимических аномалий в золотом массиве,
- выявление миграционно-активных групп элементов в техногенном водоносном горизонте, способных загрязнить подземные воды,
- изучение поведения миграционно-активных групп элементов в горизонтах подземных вод.

Система комплексной оценки воздействия золоотвалов на подземные воды апробирована на золоотвале Красноярской ТЭЦ-3. Выбор этого объекта обусловлен наличием осушенной и эксплуатируемой секций. На осушенной секции выполнялся отбор проб для изучения вещественного состава золотого массива. На рабочей секции проведено опробование осветленных вод пруда отстойника и вод техногенного водоносного горизонта. В районе золоотвала осуществлено опробование подземного водоносного горизонта.

Установлено, что золы осушенной секции относятся к образованиям кремнистого типа. В вертикальном строении золотой толщи на осушенной

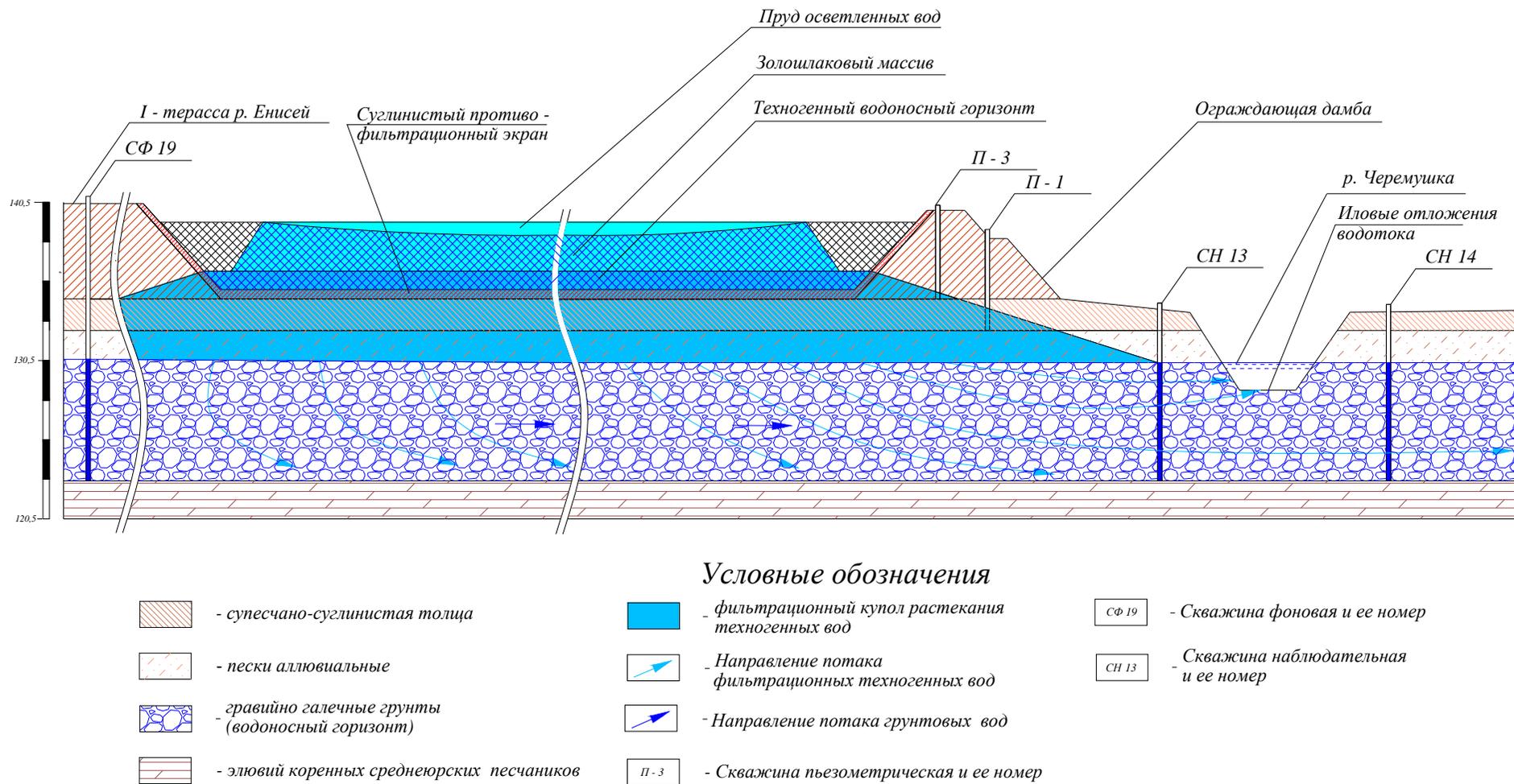
секции отчетливо выделяется зональность минерального и химического состава отходов. Отчетливо выделяется горизонт вторичного преобразования зол. В этой зоне формируются следующие ассоциации, способные загрязнять подземные воды: первая ассоциация V – Ba – Mn – Pb, вторая Sr – Co – Ni – Cu – Ti, третья Cr – Mo – Li.

Исследования рабочей секции проводилось с учетом фильтрационной модели, выполненной по результатам гидротехнических построений, осуществленных в начальный период эксплуатации объекта. Фильтрационная модель золоотвала представлена на рис. 7. Особенностью является наличие сформированного купола растекания, составляющего единое фильтрационное поле от пруда отстойника осветленных вод до горизонта подземных вод. Характерной чертой фильтрационных потоков является частичная разгрузка в дренажный канал, которым является русло речки Черемушка, представляющей собой поверхностный обводной водоток.

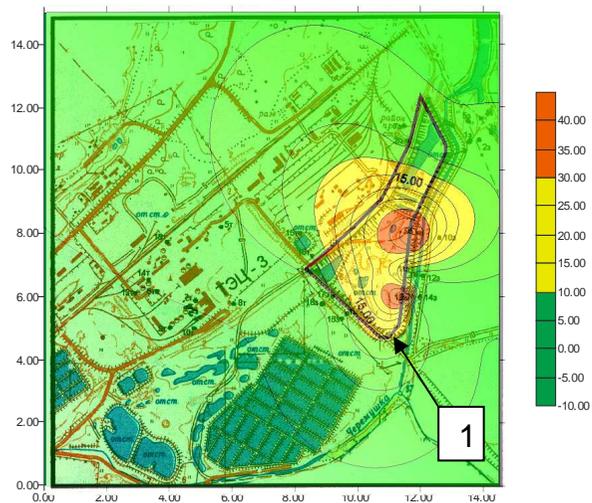
Изучение гидрохимического состава техногенного водоносного горизонта выполнялось путем регулярных наблюдений за качеством водоносной среды в пьезометрических скважинах, вскрывающих кровлю техногенного водоносного горизонта на всем протяжении ограждающей дамбы секции № 1.

Проведенные гидрохимические исследования и последующая статистическая обработка данных показали, что в техногенном водоносном горизонте формируются ассоциации, аналогичные выявленным в горизонте вторичного преобразования в сухой секции золоотвала. При обработки статистических данных методом корреляционного анализа установлены следующие геохимические ассоциации: стронций – кобальт – никель – медь – титан, ванадий – барий – марганец – свинец, литий – хром – молибден.

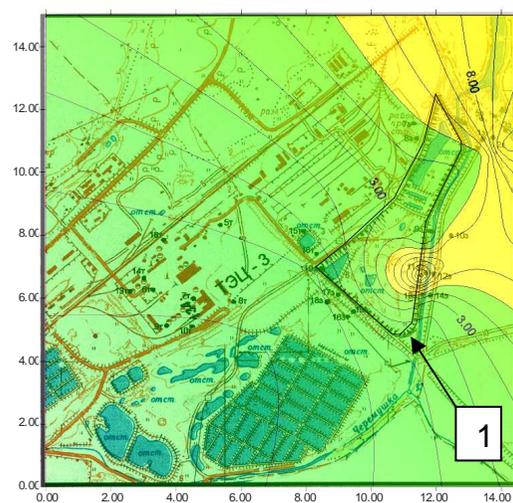
Интенсивность взаимодействия техногенных вод золоотвала и природных вод подземного водоносного горизонта оценивалась путем определения степени накопления геохимических элементов в подземной водоносной среде. Результаты расчетов коэффициентов концентрации показали, что максимальной степенью накопления в водах обладает ассоциация V – Ba – Mn – Pb, превышая показатель накопления ассоциации Sr – Co – Ni – Cu – Ti в два раза. По суммарному показателю уровень накопления элементов первой ассоциации по форме и контуру четко отражает фильтрационный купол растекания техногенных вод. Суммарный показатель второй ассоциации не имеет четких контуров, сопоставимых с границами купола фильтрации техногенных вод в подземный водоносный горизонт. Проявление воздействия на грунтовые воды элементов, входящих в ассоциацию, отчетливо прослеживается на диаграммах. Ассоциация Cr – Mo – Li обладает минимальным суммарным показателем, равномерно распределенным по всей площади в районе золоотвала (рис. 8).



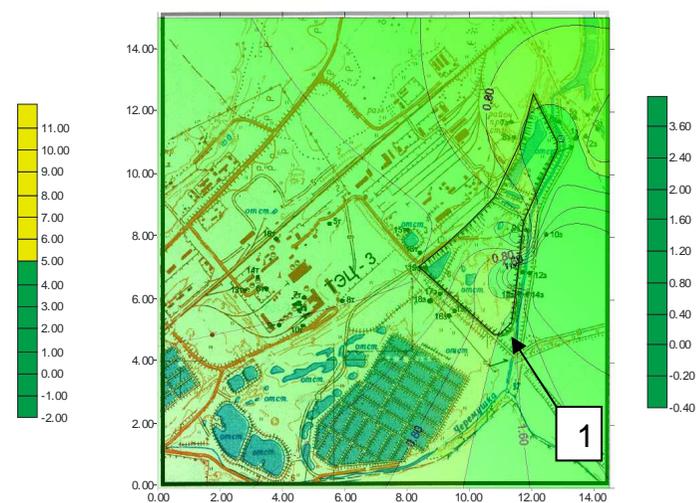
**Рис. 7. Принципиальная схема купола растекания техногенных вод в золовом массиве золоотвала Красноярской ТЭЦ - 3 и распространение их в подземном водоносном горизонте.**



а



б



в

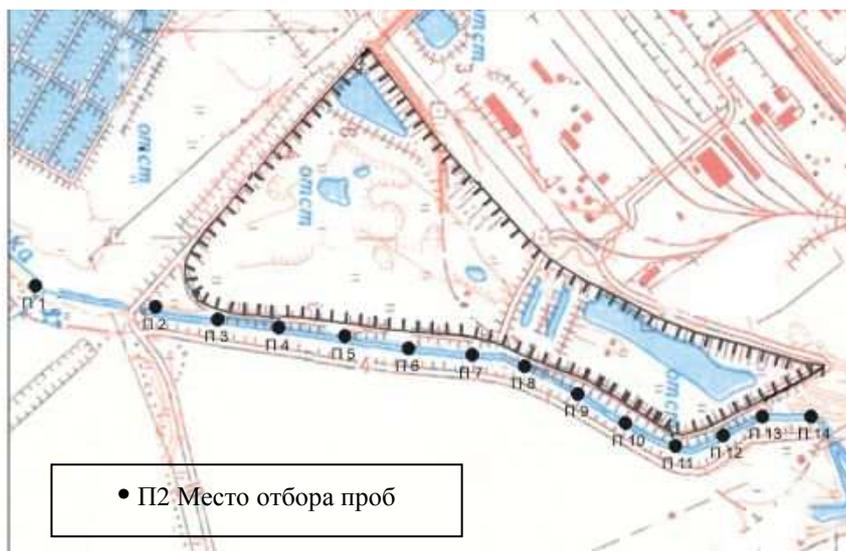
**Рис.8. Распределение суммарного показателя накопления ( $Z_c$ ) геохимических элементов в подземных водах в районе воздействия золоотвала Красноярской ТЭЦ-3.**

а – распределения  $Z_c$  геохимической ассоциации V – Ba – Mn – Pb;

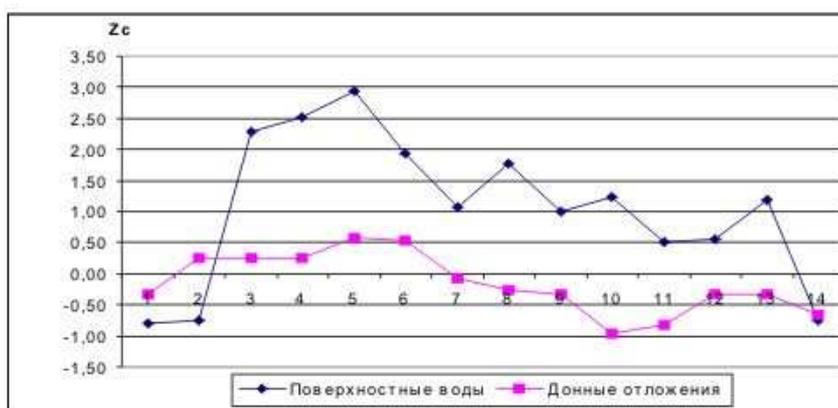
б – распределения  $Z_c$  геохимической ассоциации Sr – Co – Ni – Cu – Ti;

в – распределения  $Z_c$  геохимической ассоциации Li – Cr – Mo.

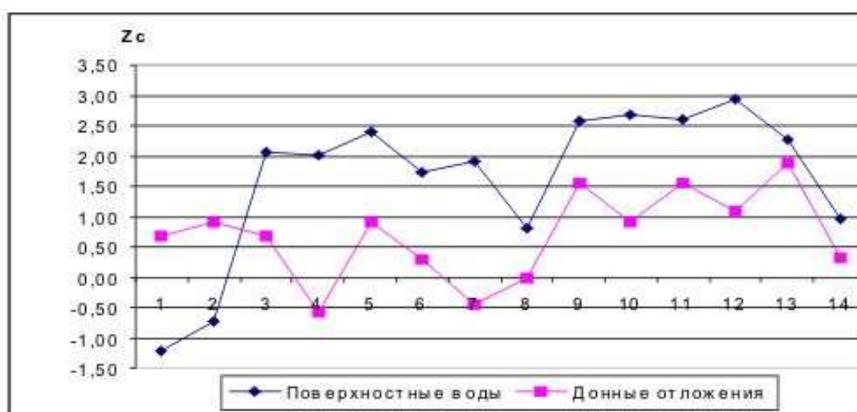
1 – границы золоотвала Красноярской ТЭЦ-3



а



б



в

**Рис. 9. Распределение суммарного показателя накопления геохимических элементов в поверхностных водах и донных отложениях водотока р. Черемушка.**  
 а – схема отбора проб поверхностных вод и донных отложений в зоне разгрузки;  
 б – изменение  $Z_c$  ассоциации элементов V – Ba – Mn – Pb в р. Черемушка;  
 в - изменение  $Z_c$  ассоциации элементов Sr – Co – Ni – Cu – Ti в р. Черемушка.

Прослежена связь геохимических ассоциаций подземных вод с поверхностным водотоком р. Черемушка, являющейся участком их разгрузки в зоне влияния секции № 1 золоотвала Красноярской ТЭЦ-3.

Поведение суммарного показателя загрязнения в поверхностном водном объекте характерно распределению геохимических компонентов в подземных водах. Максимальные значения распределения суммарного показателя ассоциации V – Ba – Mn – Pb сосредоточены на участке водотока, расположенного в зоне влияния рабочей секции. Распределение суммарного показателя Sr – Co – Ni – Cu – Ti носит равномерный характер. Аналогичные результаты наблюдаются и в донных отложениях (рис. 9).

Таким образом, ощутимым воздействием на подземные воды обладают ассоциации V – Ba – Mn – Pb и Sr – Co – Ni – Cu – Ti. При этом суммарный показатель загрязнения у первой выше, чем у второй. Слабо ощутимым накоплением обладает ассоциация Cr – Mo – Li.

Для прослеживания поведения загрязняющих веществ и прогноза развития масштабов загрязнения автором разработана система комплексного мониторинга подземных вод, в составе которого учтены выявленные особенности оценки воздействия золоотвалов на подземные воды. В разработанную систему комплексного мониторинга включены следующие части:

1. Наблюдения золотого массива, включая горизонт вторичного преобразования.
2. Наблюдения техногенной водоносной системы золоотвала, в состав которых входят:
  - а) наблюдения за химическим и микроэлементным составом осветленных вод пруда отстойника,
  - б) наблюдения за химическим и микроэлементным составом вод техногенного водоносного горизонта,
  - в) наблюдения за изменением границ фильтрационного купола растекания техногенных вод.
3. Наблюдения геологической среды в зоне воздействия золоотвалов.
4. Создание информационной базы данных.
5. Оценка уровня предельно допустимых и приемлемых техногенных нагрузок на природную гидрогеологическую среду.
6. Прогноз развития загрязнения подземных вод в зоне воздействия золоотвалов.

Проект мониторинга рассмотрен и получил одобрение ведущих организаций Сибирского федерального округа и согласован:

- Управлением федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Красноярскому краю,
- Управлением по недропользованию по Красноярскому краю.

*Реализация проекта мониторинга на территории Красноярского края осуществлена распоряжением правительства Красноярского края №143 от 05.09.2008 г. Утверждена ведомственная целевая программа «Охрана окружающей среды в Красноярском крае на 2009 – 2011 годы», в состав*

которой включено мероприятие «Осуществление мониторинга подземных вод в зоне влияния промышленных отвалов предприятий Красноярского края». Выполнение первого этапа проекта мониторинга в 2009 г. охватывает центральную часть Красноярского края.

### **Заключение**

На основании результатов полевых исследований, лабораторных анализов и камеральной обработки полученной информации выявлены особенности техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды.

1. Изучен вещественный состав золовых отходов и проведена их типизация по химическому и минеральному составу. В результате типизации золовых отложений выделены две группы зол: кремнистые золы Красноярских ТЭЦ, Назаровской ГРЭС и высококальциевые золы золоотвала Березовской ГРЭС. Установлено, что золоотвалы Средней Сибири являются техногенными аномальными зонами, аккумулирующими широкий спектр геохимических элементов, являющихся агентами, загрязняющими подземные воды.

2. В вертикальных разрезах золоотвалов изучены особенности изменения химического и минерального состава зол. Впервые установлено зональное строение золовой толщи, обусловленное преобразованием нижних горизонтов золовых массивов. Выявлены аномальные геохимические зоны в основании золоотвалов, которые являются источником формирования ассоциаций геохимических элементов, загрязняющих подземные воды.

3. Выделены миграционно-активные группы загрязняющих веществ в техногенном водоносном горизонте рабочих секций, аналогичные геохимическим ассоциациям, выявленным в горизонте вторичного преобразования золовых отложений на осушенной секции золоотвалов. Установлено, что выделенные ассоциации разделяются по интенсивности загрязнения подземных вод. Ощутимым воздействием на подземные воды обладают ассоциации ванадий-барий-марганец-свинец и титан-стронций-кобальт-никель-медь.

4. Разработаны основные положения комплексной оценки и прогноза техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды. Комплексная оценка и прогноз техногенного воздействия на подземные водоносные горизонты, включающая изучение следующих компонентов системы: «осветленные воды пруда отстойника - вещественный состав золовых массивов - воды техногенного водоносного горизонта - подземные воды». Апробация основных положений комплексной оценки и прогноза техногенного воздействия золоотвалов на подземные воды выполнена на золоотвале Красноярской ТЭЦ-3.

5. Комплексная оценка и прогноз техногенного воздействия на подземные водоносные горизонты, апробированные на золоотвале Красноярской ТЭЦ-3 и Назаровской ГРЭС, явились основой разработки проекта комплексного мониторинга подземных вод на территории Красноярского края.

## Список публикаций по теме диссертации

1. Целюк Д.И. Особенности воздействия на водную среду от объектов теплоэнергетики Средней Сибири // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. – Вып. 7. – Красноярск. – КНИИГиМС. – 2005. – С. 57-60.
2. Целюк Д.И. Изучение фильтрационных свойств золобетона золоотвала № 2 Абаканской ТЭЦ // Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященный 75-летию Сибирского государственного технологического университета. «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения». – Том 3. – Красноярск. – СибГТУ. – 2005. – С. 286-290.
3. Целюк Д.И. Анализ изменения гидрохимического состава подземных вод в районе расположения гидрозолоотвала Красноярской ТЭЦ-2 // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. – Вып. 8. – Красноярск. – КНИИГиМС. – 2006. – С. 35-39.
4. Целюк Д.И. Миграция микрокомпонентов в золошлаках на золоотвале № 2 Абаканской ТЭЦ // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. – Вып. 8. – Красноярск. – КНИИГиМС. – 2006. – С. 39-42.
5. Целюк Д.И. Техногенное изменение природной среды под влиянием предприятий теплоэнергетического комплекса // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. – Вып. 9. – Красноярск. – КНИИГиМС. – 2007. – С. 135-138.
6. Целюк Д.И. Актуальные вопросы использования краевого государственного геоэкологического мониторинга Красноярского края для защиты экологических прав граждан // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. – Вып. 10. – Красноярск. – КНИИГиМС. – 2008. – С. 10-12.
7. Целюк Д.И. Типизация золошлаковых отходов Красноярского края // Разведка и охрана недр. – № 8. – 2009. – С 52-57.

Подписано в печать 02.09.2009 г.  
Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,1  
Отпечатано на ризографе.  
Тираж 100. Заказ № 56

РИС «ВИМС»  
119017, г. Москва, Старомонетный пер. дом 31