

УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института нефтегазовой геологии и  
геофизики им. А.А. Трофимука  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
Д.т.н., академик РАН, профессор



М. И. Эпов

23 октября 2015 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука  
Сибирского отделения Российской академии наук**

Диссертация «Взаимодействие техногенных дренажных потоков с природными геохимическими барьерами» по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук выполнена в лаборатории геоэлектрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Саева Ольга Петровна работала в должности научного сотрудника лаборатории геоэлектрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

В 2006 г. О.П. Саева закончила магистратуру Новосибирского государственного университета (НГУ) (в настоящее время – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ)) по специальности «Химия».

С 2006 по 2009 гг. О.П. Саева проходила обучение в очной аспирантуре ИНГГ СО РАН по специальности 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат геолого-минералогических наук Юркевич Наталия Викторовна, работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории геоэлектрохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Материалы диссертации представлены соискателем на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН.

**Присутствовали члены Ученого совета ИНГГ СО РАН:**

д.т.н., академик, профессор М.И. Эпов, д.г.-м.н., академик Н.Л. Добрецов, д.г.-м.н., чл.-корр. В.А. Верниковский, д.г.-м.н., чл.-корр. В.А. Каширцев, д.т.н., чл.-корр. Г.И. Грицко, д.г.-м.н., чл.-корр., профессор Б.Н. Шурыгин, к.г.-м.н. Н.Г. Изох – и.о. ученого секретаря, д.ф.-м.н., доцент Е.Ю. Антонов, д.г.-м.н., профессор С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. Л.М. Бурштейн, д.г.-м.н. Д.В. Гражданкин, д.т.н., доцент В.М. Грузнов, д.г.-м.н., профессор А.Д. Дучков, д.т.н., доцент И.Н. Ельцов, к.г.-м.н. В.А. Казаненков, д.т.н., доцент Ю.И. Колесников, д.г.-м.н. И.Ю. Кулаков, д.г.-м.н. Н.К. Лебедева, д.г.-м.н. Метелкин Д.В., к.г.-м.н. С.А. Моисеев, д.г.-м.н. Б.Н. Никитенко, д.г.-м.н. Н.В. Сенников, д.ф.-м.н., профессор Б.П. Сибиряков, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, д.г.-м.н. А.Н. Фомин, д.ф.-м.н. В.А. Чеверда, д.г.-м.н. Г.Г. Шемин, к.э.н. Л.В. Эдер.

**Кроме членов Ученого совета присутствовали следующие сотрудники института:**

к.ф.-м.н. В.Н. Глинских, П.Г. Дядьков, к.ф.-м.н. О.А. Кучай, к.г.-м.н. Е.А. Мельник, к.т.н. А.Л. Макасы, к.ф.-м.н. В.В. Лисица, д.г.-м.н. Э.И. Машинский, д.т.н. В.С. Могилатов, к.х.н. И.И. Науменко, д.ф.-м.н. В.В. Плоткин, д.т.н. Э.П. Шурина, В.И. Самойлова, к.г.-м.н. Н.В. Юркевич, к.г.-м.н. Н.А. Абросимова, к.г.-м.н. Т.В. Корнеева, к.г.-м.н. А.Ю. Девятова, д.т.н. А.К. Манштейн, д.г.-м.н. Н.Н. Неведрова, к.ф.-м.н. Н.В. Штабель, д.ф.-м.н. А.И. Хисамутдинов, к.г.-м.н. Д.В. Манзырев, к.г.-м.н. А. В. Еделев, Д.А. Медных, А.Ю. Кутищева, Е.О. Рыбкина.

**Приглашенные:** д.г.-м.н. А.Б. Птицын (НГУ).

**Вопросы задавали:**

академик М.И. Эпов, д.т.н. И.Н. Ельцов, к.г.-м.н. П.Г. Дядьков, д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.т.н. Ю.И. Колесников, д.г.-м.н. А.Б. Птицын, д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев, к.т.н. А.Л. Макась.

**Выступили:**

к.г.-м.н. Н.В. Юркевич, к.т.н. А.Л. Макась, д.т.н. А.К. Манштейн, д.г.-м.н. Бортникова С.Б., к.г.-м.н. Д.В. Манзырев, д.г.-м.н. А.Б. Птицын, академик М.И. Эпов, д.т.н. И.Н. Ельцов, д.г.-м.н. В.Д. Суворов, д.т.н. Ю.И. Колесников.

**С диссертацией ознакомились специалисты:**

д.г.-м.н., в.н.с. ИГМ СО РАН О.Л. Гаськова, д.т.н., в.н.с. ИНГГ СО РАН А.К. Манштейн, к.т.н., зав. лаб. ИНГГ СО РАН А.Л. Макась.

Выступившие члены Учёного совета Института дали положительную оценку диссертационной работы О.П. Саевой.

По результатам рассмотрения диссертации «Взаимодействие техногенных дренажных потоков с природными геохимическими барьерами» сделано следующее **заключение**.

**Актуальность работы** продиктована крупномасштабным распространением техногенных вод, загрязненных токсичными элементами (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Ni, Co, Be, As, Sb), из районов складирования отходов горнорудного производства в окружающую природную среду. При взаимодействии измельчённых сульфидсодержащих отходов с природными водами (атмосферными осадками, поверхностными и подземными потоками) образуются высокоминерализованные техногенные растворы с концентрациями химических элементов, в том числе 1 и 2 классов опасности, превышающими фоновые значения и предельно допустимые концентрации на несколько порядков. Миграция элементов с техногенными водными потоками приводит к формированию разнообразных геохимических аномалий на расстояниях в десятки километров от хранилищ отходов. Многие из хвостохранилищ, расположенных в горнорудных районах РФ, на сегодняшний день можно рассматривать как «техногенные месторождения», в связи с чем все большую **актуальность** приобретают как разработка методов снижения подвижности и минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду, так и способы вторичного извлечения ценных компонентов (Au, Ag, Cu, Zn).

Диссертант детализировал особенности геохимического состава 4-х типов техногенных потоков, образующихся при взаимодействии сульфид-содержащих отходов горнорудного производства с природными водами: от субщелочных растворов, связанных с отходами цианирования золотоносных руд (Комсомольский золотоизвлекательный завод, Кемеровская область), до кислых дренажей с мест складирования «пиритных песков» (Карабашская

обогащительная фабрика, Челябинская область), что позволило на основе выявленных различий в физико-химических параметрах среды и макрокомпонентом составе растворов, выявить существующие формы нахождения химических элементов в системе вода – порода, определить их подвижность и условия иммобилизации токсичных форм. Автор разработал научно-технические рекомендации по электролизному извлечению ценных компонентов (Cu, Zn, Ag) из различных типов высокоминерализованных техногенных растворов и их доочистке при помощи природных геохимических барьеров на основе глин, донных осадков и почв. Кроме того, диссертант применил методы натурального мезомоделирования для уточнения механизма самоочищения природных водоёмов от металлов при залповом загрязнении водной среды. Получены новые знания о миграции и осаждении химических элементов на геохимических барьерах, образующихся при смене физико-химических условий среды в природно– техногенных системах.

**Объектами** исследования настоящей работы были выбраны хранилища отходов горнорудного производства и связанные с ними техногенные водные объекты различных способов формирования (Комсомольский гидроотвал, пруд-отстойник Беловского цинкового завода, Харитоновские карьерные озера, река Сак-Елга, дренирующая отходы Карабашской обогащительной фабрики) с широкими диапазонами кислотности среды (рН 2 - 9) и концентраций химических элементов.

**Цель работы** – определение существующей и потенциальной опасности техногенных тел (складированных различными способами отходов горнорудного производства) и разработка способов эффективного снижения подвижности элементов (Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Ni, As) в дренажных потоках на примере хвостохранилищ в Кемеровской и Челябинской областях.

**Научная задача** – разработка экономически выгодного решения для осаждения и извлечения химических элементов из техногенных дренажных растворов выполнялась на основе современных представлений теоретической геохимии и по следующим этапам: 1) расчет кислотообразующего/кислотонейтрализующего потенциалов вещества отходов и вмещающих пород с определением состава дренажных стоков, сформированных в результате деятельности предприятий горнорудного производства; 2) балансовая оценка способов удаления потенциально опасных химических элементов (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Ni, Co, Be, Mn, Al, As, Sb) из дренажных растворов на природных материалах при помощи лабораторных экспериментов и натурального моделирования; 3) разработка оптимальной

методики селективного электрохимического извлечения металлической меди из многокомпонентных кислых высокоминерализованных дренажных растворов.

**Лично автором** получены следующие **новые научные результаты**:

1. В ходе многолетнего мониторинга было установлено, что в районах складирования сульфидных отходов горнорудного производства образуются геохимические аномалии в поверхностных и подземных водах за счёт миграции химических элементов с водными дренажными потоками.

2. Экспериментальным способом определена эффективность природных геохимических барьеров. Помимо свойств материалов, результат варьировал в зависимости от исходной суммарной концентрации металлов в дренажном растворе.

3. Натурными экспериментами в мезокосмах было показано, что при впадении дренажного потока в природный водоём в первые 4 часа происходит резкое снижение концентраций металлов (Cu, Zn, Pb) в растворе на 20 – 30 % за счёт сорбции на органоминеральной взвеси, последующее снижение концентраций металлов осуществляется постепенным выводом элементов фитопланктонным каналом. Дополнительное введение природных материалов в мезокосмы увеличивает скорость и эффективность вывода элементов из раствора на 20-40%.

4. Установлено, что метод электролиза позволяет извлекать до 40 % ионов меди из многокомпонентных техногенных дренажных потоков с концентрациями Cu до 5 г/л. Метод цементации добавлением стружки Fe или Al позволяет селективно извлекать до 80 - 99% меди из кислого сульфатного раствора.

**Соискатель участвовал в проведении полного цикла полевых и лабораторных исследований:** постановке задач, разработке методических подходов их решения, сборе и обработке данных, получении оригинальных результатов, их анализе, обсуждении и подготовке публикаций по теме диссертации.

**Научная новизна работы.** Исследования позволили получить новые знания об особенностях миграции химических элементов с водными техногенными потоками и условиях снижения их подвижности на геохимических барьерах.

1. Впервые в ходе многолетних наблюдений (2005 – 2014 гг.) выявлены особенности формирования состава воды техногенных водоёмов различных генетических типов. Показано, что концентрации сульфат-ионов и широкого спектра химических элементов, в том числе As и Be – элементов I-го класса

опасности, в воде техногенных водоёмов увеличиваются за счёт постоянного взаимодействия вещества отходов с водным раствором.

2. Впервые обоснована эффективность осаждения Cu, Cd, Fe, Zn, As, Sb на геохимических барьерах, состоящих из природных материалов (известняк, глина, фосфориты, почвы, донные отложения), из реальных многокомпонентных техногенных растворов с разными диапазонами pH (от 2 до 9) и суммарной минерализацией от 0.5 до 15 г/л.

3. Впервые аргументирована эффективность использования натуральных геохимических барьеров (глин и донных отложений) при залповом загрязнении природного водоёма солями Cu, Cd, Pb, Zn.

4. Разработан метод количественного извлечения металлической меди из многокомпонентного дренажного раствора при помощи электролиза и цементации на примере Беловского дренажа, получен патент на изобретение (Патент РФ № 2465215, МПК C02F 1/62, опубликовано: 27.10.2012).

**Достоверность полученных результатов** обеспечена достаточной представительностью фактического материала и использованием современных методов и средств геохимических исследований. В основу диссертационной работы положены результаты анализов 390 водных проб, 100 твердых проб. Сделано в общей сложности около 8500 элементо-определений: анализ образцов на общий химический (потенциометрические, титриметрические методы), элементный (ИСП-АЭС, РФА-СИ, ИВА) и минеральный состав (РСТА). Для оконтуривания техногенного тела использовался метод сканирующей электротомографии.

#### **Практическая значимость исследования**

Проведённые исследования послужили основой для разработки методики получения металлической меди из кислых дренажных стоков горнорудных предприятий и попутной глубокой очистки сточных вод от ионов других металлов (Be, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn). На базе запатентованной автором методики в настоящее время ведутся работы по промышленному извлечению меди из Беловского пруда-отстойника. Полученные данные могут быть применимы при оценке эффективности использования геохимических барьеров природного происхождения для очистки аналогичных техногенных стоков и природных водоёмов, подвергшихся залповому выбросу металлов.

**Основные результаты, представленные в работе, были доложены диссертантом** на Российских и Международных симпозиумах и конференциях: Международная экологическая студенческая конференция «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2003), Международная научная

конференция «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2005), Сибирская конференция молодых ученых по Наукам о Земле (Новосибирск, 2006), Всероссийская научно-практическая конференция (Екатеринбург, 2006), Ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (Москва, 2008), Международная конференция Water-Rock Interaction (Мехико, Мексика, 2010), Международная конференция «Problems of ecology in mineral industry» (Варна, Болгария, 2011), Международная конференция «Water Technology Conference» (Александрия, Египет, 2011), Всероссийская конференция «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2012), Национальная конференция по использованию Синхротронного Излучения (Новосибирск, 2006, 2012, 2014), Международный научный конгресс и выставка «Интерэкспо Гео-Сибирь» (Новосибирск, 2014, 2015), Международная конференция Goldschmidt 2015 (Прага, Чехия, 2015).

**Полученные научные результаты достаточно полно изложены** в 29 публикациях, из которых **5 статей** - в ведущих научных журналах, входящих в перечень рецензируемых изданий, определенных Высшей аттестационной комиссией, – «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования», «Известия РАН», «Applied Geochemistry», «Toxicological & Environmental Chemistry», **патент РФ** и 19 - материалы докладов на российских и международных конференциях.

#### **Основные публикации по теме диссертации:**

##### ***Статьи в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:***

1. Юркевич Н.В., Бортникова С.Б., Лапицкий С.А., Фроликова М.А., Колмогоров Ю.П., **Саева О.П.** Осаждение металлов, мышьяка и сурьмы из дренажного потока на карбонатном барьере по данным анализа РФА-СИ. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2008, № 11, с 1-5.

Соискателем на основе лабораторных динамических экспериментов сделана количественная оценка осаждения химических элементов из кислого дренажного раствора с сульфидных отходов Беловского цинкового завода на карбонатном материале. Соискатель участвовал в постановке экспериментов и анализе проб карбонатного материала до и после эксперимента методом РФА-СИ.

2. B.S. Smolyakov, A.P. Rizhikh, S.B. Bortnikova, **O.P. Saeva.** Behavior of metals (Cu, Zn and Cd) in the initial stage of water system contamination: Effect of pH and suspended particles // Applied Geochemistry. – 2010.- V.25/8. p. 1153-1161.

Соискателем на основе натуральных экспериментов выявлены механизмы выведения металлов из реального водоема. Соискатель участвовал в проведении экспериментов, подготавливал образцы к химическому анализу, определял ряд показателей потенциометрическими методами и инверсионной вольтамперометрией, интерпретировал полученные результаты.

3. N.V. Yurkevich, **O.P. Saeva**, N.A. Pal'chik. Arsenic mobility in two mine tailings drainage systems and its removal from solution by natural geochemical barriers // *Applied geochemistry*. Volume 27, Issue 11, November 2012, P. 2260–2270.

Соискатель на основе результатов натуральных и лабораторных экспериментов определил подвижность мышьяка в дренажных системах Беловского цинкового завода и Карабашской обогатительной фабрики и условия осаждения на карбонатном барьере. Соискатель участвовал в пробоотборе, подготовке проб, определении ряда показателей потенциометрическими и титриметрическими методами в водных пробах, постановке и интерпретации экспериментов, анализе твердых проб методом РФА-СИ.

4. **Саева О.П.**, Юркевич Н.В., Кабанник В.Г., Колмогоров Ю.П. Определение эффективности нейтрализации кислого дренажа геохимическими барьерами на основе природных материалов с помощью метода РФА-СИ. *Известия РАН. Серия физическая*. 2013, том 77, № 2, с. 238–241.

Соискателем на основе лабораторных статических экспериментов сделана количественная оценка осаждения ряда химических элементов на природных материалах на основе глин и фосфоритов. Соискатель разработала и осуществила схему экспериментов, определила ряд показателей потенциометрическими и титриметрическими методами, интерпретировала полученные результаты.

5. Yurkevich N.V., **Saeva O.P.**, Karin Y.G. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, Kemerovo and Chelyabinsk regions, Russia // *Toxicological & Environmental Chemistry*. 2015. – V. 15. – I. 1. – P. 76-89.

Соискатель на основе полевых опробований и лабораторных измерений выделил геохимические аномалии в водах и снежном покрове в зоне влияния хранилищ сульфидных отходов Беловского цинкового завода в Кемеровской области и Карабашского медеплавильного комбината в Челябинской области. Соискатель участвовал в пробоотборе, подготовке проб, определении ряда показателей потенциометрическими, титриметрическими методами и РФА-СИ, интерпретации результатов.

*Патент*



**Саева О.П., Юркевич Н.В., Кабанник В.Г., Бортникова С.Б., Гаськова О.Л.** Способ очистки кислых многокомпонентных дренажных растворов от меди и сопутствующих ионов токсичных металлов. Патент РФ № 2465215, МПК C02F 1/62, опубликовано: 27.10.2012 Бюл. № 30.

Соискатель разработал методику извлечения металлической меди из реального дренажного раствора (с отходов Беловского цинкового завода, Кемеровская область) с дальнейшей доочисткой от остальных химических элементов, присутствующих в многокомпонентном растворе. Реализована очистка высокоминерализованных сульфатных дренажных растворов от меди с исходной её концентрацией 4 г/л с эффективностью 90 %.

#### ***Материалы международных конференций:***

O.P. Saeva, N.V. Yurkevich, V.G. Kabannik. The electrochemical remediation of acid drainage. Water-Rock Interaction Conference, August 2010. Guanajuato Mexico, London: CRC Press 2010. P. 607-610.

Саева О.П., Юркевич Н.В. Извлечение металлов из кислых дренажных стоков Беловского цинкового завода при помощи расходного анода. Сборник трудов Междунар.конф. «Проблемы экологии в минерально-сырьевой области», Варна, Болгария, 2011. С. 393 – 396.

Nataliya Yurkevich, Olga Saeva, Yuriy Karin, Irina Provornaya, Dmitriy Kucher. Geochemical Anomalies in Sulfide-Bearing Waste Disposal Areas, Kemerovo and Chelyabinsk Regions Russia. Goldschmidt conference, Prague, 2015. - P. 3555.

Все вышесказанное позволяет утверждать, что **работа соответствует паспорту специальности 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»**, п. 4 (Изучение химического состава всех типов природного вещества (земной коры, глубинного вещества Земли, гидросферы, атмосферы, живого вещества, внеземного вещества) и закономерностей распространённости в них химических элементов и изотопов.), п.5 (Изучение состояния и форм нахождения химических элементов во всех типах природного вещества.), п.7 (Изучение закономерностей концентрирования химических элементов в геологических процессах.), п.10 (Экспериментальное изучение механизмов химических и биохимических реакций, контролирующих поведение химических элементов и изотопов в биосфере, а также в других природных системах.), п.14 (Изучение поведения химических элементов и изотопов в биогеохимических процессах) **по геолого-минералогическим наукам.**

Тема диссертации утверждена 27 мая 2015 года на заседании Учёного совета ИНГГ СО РАН, протокол № 6.

Представленные в диссертации результаты получены автором при выполнении научно-исследовательских проектов лаборатории геоэлектрохимии № 571 ИНГГ СО РАН, поддержанных грантами: РФФИ (проекты №№ 12-05-31366, 12-05-31137, 12-05-33019) и Фондом Президента РФ (МК - 5724.2014.5).

Диссертационная работа О.П. Саевой «Взаимодействие техногенных дренажных потоков с природными геохимическими барьерами» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе полевых измерений, лабораторных экспериментов, натурального и термодинамического моделирования получены данные об особенностях формирования состава водных техногенных объектов Кемеровской и Челябинской областей, а также разработана методика осаждения и извлечения химических элементов из дренажных растворов.

Диссертация «Взаимодействие техногенных дренажных потоков с природными геохимическими барьерами» Саевой Ольги Петровны **рекомендуется к защите** на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Заключение принято на заседании Ученого совета ИНГГ СО РАН. Присутствовало на заседании 55 чел., из них 29 членов Ученого совета ИНГГ СО РАН, председатель – академик РАН М.И. Эпов, секретарь – к.г.-м.н. Н.Г. Изох.

Результаты открытого голосования Ученого совета по вопросу о принятии заключения по диссертации О.П. Саевой: за - 29, против - нет, воздержавшихся - нет.

Протокол № 11 от 23 октября 2015 г.

Заключение оформила:

и.о. ученого секретаря ИНГГ СО РАН,  
к.г.-м.н.



Н.Г. Изох