

*На правах рукописи*



Оводова Елена Викторовна

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОЦЕССОВ  
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ  
В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ  
(НА ПРИМЕРЕ КАВАЛЕРОВСКОГО И ДАЛЬНЕГОРСКОГО РАЙОНОВ  
ПРИМОРСКОГО КРАЯ)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) на кафедре геологии, геофизики и геоэкологии

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук, профессор  
**Тарасенко Ирина Андреевна**

**Официальные оппоненты:** **Бортникова Светлана Борисовна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (г. Новосибирск), заведующая лабораторией геоэлектрохимии

**Гаськова Ольга Лукинична**, доктор геолого-минералогических наук, с.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск), ведущий научный сотрудник лаборатории рудно-магматических систем и металлогении

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем ДВО РАН (г. Хабаровск)

Защита диссертации состоится 15 декабря 2017 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30 (корпус 20, аудитория 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО НИ ТПУ по адресу: 634050, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

к. г.-м. н.



Л.В. Жорняк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Промышленная эксплуатация месторождений всегда обуславливала значительное увеличение техногенной нагрузки на экологическую обстановку горнорудных районов. Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности в Кавалеровском и Дальнегорском районах Приморского края выразилось не только в массовом изъятии полезных компонентов, но также в размещении объектов добычи и большого объема отходов обогащения.

Основными источниками загрязнения окружающей среды различными элементами и тяжелыми металлами в рассматриваемых районах являются ликвидированные горные выработки (штольни) и хвостохранилища. Попав в атмосферу, почву или водоемы, загрязнители не остаются на месте, а включаются в природный круговорот веществ, обуславливают изменение качества природной среды. В результате природные экосистемы на десятки и сотни лет попадают в зону интенсивного загрязнения. Поэтому изучение качественной и количественной характеристик минералого-геохимических преобразований в природно-техногенных геологических системах Кавалеровского и Дальнегорского районов Приморского края и их негативного воздействия на окружающую среду весьма актуально и практически значимо.

В результате минералого-геохимических преобразований рудных минералов, горных пород и природных вод, обусловленных гипергенными процессами, происходит формирование вод с повышенными (относительно «Перечня ПДК и ОБУВ», 1997 г. и СанПиН 2.1.4.1074-01) содержаниями различных компонентов. При этом влияние горнорудного техногенеза на гидрогеологическую систему не ограничивается только загрязнением воды высокотоксичными элементами. Взаимодействие дренажных потоков с природными водами приводит к нарушению естественного гидрогеохимического режима и изменению химического типа природных вод.

Физико-химические особенности преобразования породообразующих и рудных минералов в техногенных объектах (отвалы вскрышной породы, хвостохранилища, горные выработки) изучены и представлены в работах И.А. Тарасенко, А.В. Зинькова (1998, 2001); Р.А. Кемкиной, И.В. Кемкина (2006; 2007); С.Б. Бортниковой с соавторами (2001, 2006); В.П. Зверевой (2005, 2008); О.П. Саевой (2015); N.V. Yurkevich et al. (2012). Однако на территории Приморского края недостаточно изученными остаются вопросы, связанные с влиянием вещественного состава техногенных отходов на механизмы миграции химических элементов и определением степени их негативного воздействия на поверхностные водные объекты.

Появление новых, высокоточных методов геохимических и минералогических исследований позволяет значительно расширить знания в области вторичного

минералообразования в районах добычи минерального сырья и складирования отходов их обогащения, на современном уровне изучить особенности гипергенного преобразования исходных минеральных фаз, механизмы перевода токсичных элементов в раствор и их миграцию.

**Объектами исследования** являются рудные и породообразующие минералы, природные поверхностные, подземные и техногенные воды Кавалеровского и Дальнегорского районов Приморского края. Исследованы рудничные воды штолен, расположенные в пределах законсервированных месторождений Дубровского, Хрустального, Высокогорского и Верхнего, а также воды разведочной штольни в пос. Фабричный Кавалеровского района, двух старых и новых хвостохранилищ Центральной (ЦОФ) и Краснореченской обогатительных фабрик (КОФ), размещенных в Дальнегорском районе Приморского края.

**Цель исследований.** Выявить особенности трансформации химического состава природных вод под влиянием процессов минералого-геохимических преобразований в природно-техногенных геологических системах Кавалеровского и Дальнегорского районов.

**Задачи исследований:**

1. Определить условия формирования химического состава вод в районах горнорудного техногенеза Кавалеровского и Дальнегорского районов.
2. Изучить особенности химического состава природных и техногенных вод, формы миграции основных макро- и микроэлементов.
3. Выявить основные загрязнители поверхностных и подземных вод, установить источники токсичных элементов.
4. Изучить процессы вторичного минералообразования в зоне гипергенеза природно-техногенных геологических систем, определить количества и формы вхождения токсичных элементов в кристаллические структуры минералов.
5. Оценить масштабы влияния объектов горнорудного техногенеза на состояние поверхностных вод и их потенциальную опасность на экосистемы р. Рудной и р. Зеркальной.

**Фактический материал и личный вклад автора.** В основу диссертационной работы положены результаты химического анализа 119 проб воды, 36 проб лежалых хвостов обогащения, 52 образцов минеральных новообразований.

Отбор геохимических, гидрохимических и минералогических проб осуществлялся автором лично в ходе полевых исследований 2011–2015 гг. В процессе работы привлекались материалы производственных отчетов и литературные данные.

Аналитические работы выполнялись в аналитическом центре Дальневосточного

геологического института (ДВГИ ДВО РАН) и в экоаналитической лаборатории ООО «Экоаналитика» Дальневосточного федерального университета.

Достоверность научных результатов обеспечивается применением комплекса современных методов исследования и большим объемом экспериментальных данных физико-химического моделирования. Автором обработаны результаты рентгеноструктурного и рентгенографического анализа (более 80 определений), электронно-микросондового анализа (более 150 определений), изучена морфология и состав минеральных фаз на сканирующих электронных микроскопах (более 200 определений).

Полученные фактические материалы, положены в основу диссертационной работы. Все разделы диссертации выполнены автором лично. Основные положения и выводы диссертационной работы опубликованы.

#### **Научная новизна работы:**

1. Впервые выявлены и изучены морфологические структуры и особенности химического состава вторичных минеральных новообразований хвостохранилищ КОФ, на основе чего рассчитаны их кристаллохимические формулы и определены количества и формы вхождения токсичных элементов в их кристаллические структуры.

2. Изучено фракционирование РЗЭ в отложениях хвостохранилищ КОФ.

3. Получены новые данные по составу, содержанию и распределению редкоземельных элементов в природных поверхностных и подземных водах, определены концентрации РЗЭ в техногенных водах Дальнегорского района.

4. Впервые с помощью физико-химического моделирования определены основные формы миграции химических элементов с позиций геохимической эволюции системы «вода-порода-газ». Проведена оценка и прогноз потенциального загрязнения среднего течения р. Рудной поверхностными стоками с хвостохранилищ Дальнегорского района.

5. Впервые для рассматриваемых объектов оценена степень неравновесности воды с водовмещающими породами в условиях зоны гипергенеза.

**Практическая значимость работы.** Представленные в работе данные об уровнях концентраций химических элементов в водных объектах, могут быть использованы специалистами в области экологической безопасности при организации мониторинга окружающей среды.

Результаты исследований могут использоваться при создании системы требований к организации складирования отвалов горнорудной промышленности и осуществлении прогноза потенциального воздействия объектов горнодобывающей промышленности на предпроектной стадии.

Данные, характеризующие формы нахождения и миграции РЗЭ в природных и техногенных водах, распределение РЗЭ в отходах обогащения сульфидных руд, могут быть полезны при проведении гидрогеохимических поисков полезных ископаемых.

Методология изучения особенностей и закономерностей процессов формирования состава вод, приемы оценки техногенного воздействия на окружающую среду используются в процессе обучения студентов ДВФУ.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные научные положения работы докладывались и обсуждались на различных российских и международных конференциях и симпозиумах: Научная конференция Вологдинские чтения «Техносферная безопасность» (Владивосток, 2012); XVIII Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2014); II Международная научно-практическая конференция Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений (Екатеринбург, 2015); Всероссийская научно-практическая конференция «Современные исследования в геологии» (Санкт-Петербург, 2015); II Всероссийская конференция с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Владивосток, 2015); Международная научная конференция «Современные технологии и развитие политехнического образования» (Владивосток, 2015).

По тематике диссертации опубликовано более 20 работ из них 4 статьи в российских изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 статьи индексируемые в реферативных базах данных SCOPUS.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (№ 14.132.21.1374), руководитель гранта – Оводова Е.В.

**Общая структура диссертации.** Диссертация изложена на 271 странице и состоит из введения, 6 глав и заключения. Содержит 266 библиографических источников, 49 таблиц, 72 рисунка и 6 приложений.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. И.А. Тарасенко за внимание, непосредственную помощь в организации и выполнении работ, советы и обсуждения. Автор искренне признателен и благодарен к.г.-м.н. Р.А. Кемкиной за ценные замечания и рекомендации, д.г.-м.н. И.В. Кемкину за оказанную помощь при решении задач физико-химического моделирования, обсуждение рукописи и высказанные критические замечания. Автор благодарит к.г.-м.н. А.В. Зинькова за консультации и обсуждение полученных результатов. Автор благодарен сотрудникам аналитического центра ДВГИ ДВО РАН Г.Б. Молчановой, А.В.

Поселужной, Е.В. Елохиной, Н.С. Зарубиной, Г.И. Горбач, Е.А. Ткалиной, Н.В. Хуркало, заведующей ЭАЛ ООО «Экоаналитика» ДВФУ И.Г. Лисицкой, а также Е.О. Хвост и С.М. Олесик, при содействии которых была произведена аналитическая обработка первичного материала. За конструктивную критику и ценные рекомендации автор признателен д.г.н. С.М. Говорушко, к.г.-м.н. А.С. Ваху, д.т.н. Н.Г. Шкабарне, к.г.-м.н. С.П. Гарбузову. Автор благодарен к.х.н. А.М. Костиной и А.Д. Пятакову за консультации и помощь при освоении программного комплекса «Селектор-С».

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, обозначены объекты, цели и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов исследования.

В главе 1 приводятся данные о результатах гидрогеохимических исследований на территории Приморского края. Анализ литературных данных показал, что исследования, направленные на выявление и определение степени влияния горнорудного техногенеза на рассматриваемых объектах, имеют локальный характер и свидетельствуют о неравномерной изученности территории.

В главе 2 приводятся данные о географическом и административном положении района исследований, социально-экономических условиях района и их влиянии на экологическое состояние водных объектов. Рассмотрены особенности геологических и гидрогеологических условий района исследований.

В главе 3 приведена методология исследований, включающая полевые (отбор проб воды, твердых минеральных фаз) и лабораторные работы, а также приемы обработки полученной информации, используемые для решения поставленных в работе задач.

Лабораторные методы исследования включали определение основных катионов и анионов воды методом АЭС–ИСП (Спектрометр ICA 6500 Duo), ИСП–МС (Agilent, 7700), ААС (атомно-абсорбционный спектрометр), ИК–спектрометрии (АН-2), титриметрическим (Анион 7051), капиллярного электрофореза (Капель-103РТ).

Определение элементного состава твердых минеральных фаз проводилось с использованием методов ИСП–МС (Agilent 7700), ААС (Спектрофотометр Shimadzu AA-6800), АЭС–ИСП (ICAP 6500Duo). Диагностическое исследование минеральных образований проведено с применением оптического метода (МБС-9), изучение химического состава минералов, морфологии кристаллов и анализ микровключений производились на электронно-зондовом микроанализаторе JXA 8100 с энергодисперсионным спектрометром INCA-sight. Рентгеноструктурный анализ

выполнен на дифрактометре ДРОН-3 с монохроматизированным излучением и на микродифрактометре D8-Discover. Изучение микроморфологии и состава вторичных минеральных фаз осуществлялось с помощью сканирующей электронной микроскопии на приборах JSM-6490LV и ZEISS EVO 50XVP, оснащенных рентгеновскими энерго-дисперсионными спектрометрами INCA Energy.

Анализ и обработка результатов химического состава вод и твердых минеральных образований осуществлялись с помощью средств пакетов Microsoft Office. Обработка графического материала производилась при помощи программного продукта Surfer 8.0, CorelDraw X6. Расчет равновесия вод с горными породами проведен с использованием программного комплекса AquaChem V. 5.1. Физико-химическое моделирование системы «вода-порода-газ» проведено с использованием программного продукта «Селектор-С».

В главе 4 рассматривается геохимия природных и техногенных вод. Установлено, что химический состав вод в районах горнорудного техногенеза подвержен значительной изменчивости. В природно-техногенных геологических системах Кавалеровского и Дальнегорского районов происходит геохимическая трансформация природных вод по схеме  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Ca}$ , наблюдается увеличение минерализации (от  $0,41 \text{ г/дм}^3$  до  $10,19 \text{ г/дм}^3$ ) и изменение водородного показателя ( $8,48 > \text{pH} > 2,33$ ).

В главе 5 рассматриваются факторы формирования химического состава вод, которые определяются вещественным и минералогическим составом хвостов обогащения сульфидных руд и неравновесностью в системе «вода-порода». На основании результатов физико-химического моделирования ионного состава раствора при изменяющихся объемных соотношениях твердой и жидкой фаз показано, что в слабощелочных и близонейтральных водах миграция элементов осуществляется в форме незакомплексованных ионов и комплексов-ассоциатов с участием анионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{OH}^-$ . При увеличении объемной массы породы формируются сильноокислые ( $\text{pH} 2,46 - 2,48$ ) растворы, минерализация которых изменяется от  $10474,88$  до  $25634,22 \text{ мг/кг H}_2\text{O}$ , преобладающей формой миграции элементов являются простые катионные формы, а в комплексообразовании значительная доля приходится на  $\text{SO}_4^{2-}$ -ион.

В главе 6 на основании результатов гидрогеохимических исследований и физико-химического моделирования приводится качественная и количественная характеристика поверхностных вод Дальнегорского и Кавалеровского районов Приморского края, дается оценка и прогноз потенциального загрязнения среднего течения р. Рудной поверхностным стоком с хвостохранилищ.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

В Приложении приведены результаты анализа проб и физико-химического моделирования.



## ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Защищаемое положение 1. Химический состав вод в районах горнорудного техногенеза подвержен значительной изменчивости. В природно-техногенных геологических системах геохимическая трансформация природных вод происходит по схеме  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Ca}$ . Процессы гипергенного преобразования определяют формирование слабосоленых ( $M < 1,5 \text{ г/дм}^3$ ), нейтральных и слабощелочных ( $\text{pH} = 7,26\text{--}7,63$ ),  $S^{\text{Ca}}_{\text{II-III}}$  вод в природно-техногенных геологических системах Кавалеровского района, а также пресных ( $M < 0,5 \text{ г/дм}^3$ ) и слабосоленых ( $M < 10,19 \text{ г/дм}^3$ ), слабощелочных ( $\text{pH} = 8,48$ ) и сильнокислых ( $\text{pH} = 2,33$ ),  $S^{\text{Ca}}_{\text{II-IV}}$  вод в условиях Дальнегорского района.*

Анализ данных гидрогеохимических исследований показал, что на исследуемой территории на фоне природных вод (подземных и поверхностных) выделяются участки техногенно-трансформированных вод, формирующиеся под воздействием горнорудного техногенеза (таблица 1 и 2).

Минерализация подземных вод в Дальнегорском районе изменяется от 0,05 до 0,41 г/дм<sup>3</sup>. Значения pH варьируют в пределах от 6,8 до 7,7, следовательно, воды относятся как к нейтральным, так и к слабощелочным. По химическому составу, подземные воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе натрия, первому типу ( $\text{C}^{\text{Na}}_{\text{I}}$ ) (по классификации О.А. Алекина (1970)). В Кавалеровском районе минерализация природных подземных вод изменяется от 0,03 до 0,06 г/дм<sup>3</sup>. Значения pH лежат в пределах от 6,01 до 7,43 и характеризуют воды как слабокислые и нейтральные. По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второму типу ( $\text{C}^{\text{Ca}}_{\text{II}}$ ).

Природные поверхностные воды Дальнегорского района характеризуются низкой минерализацией, варьирующейся в пределах 0,05 до 0,18 г/дм<sup>3</sup>. Значения pH в пределах 6,93–7,85, при этом наблюдается преобладание слабощелочных вод. По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второму типу ( $\text{C}^{\text{Ca}}_{\text{II}}$ ). Минерализация природных поверхностных вод Кавалеровского района изменяется в интервале от 0,04 до 0,07 г/дм<sup>3</sup>, значения pH от 7,03 до 7,43, что указывает на преобладание нейтральных вод. По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому и второму типу ( $\text{C}^{\text{Ca}}_{\text{I-II}}$ ).

Техногенные воды формируются под воздействием горнорудного техногенеза, образуя локальные участки техногенно-трансформированных вод по спектру элементов макрокомпонентного ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и микрокомпонентного состава (Zn, Cd, As, Cu, Mn, Al, Li и др.). В Дальнегорском районе минерализация техногенных вод изменяется от 0,09 до 10,19 г/дм<sup>3</sup>. Значение pH колеблется от 2,33 до 8,48, что указывает на изменение вод от

**Таблица 1 – Типизация природных вод района**

Исследуемые воды	Класс	Группа	Тип	Вид вод	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Группа вод по значению pH
<b>Природные подземные воды Дальнегорского района</b>						
Грунтовые воды в аQ отложениях речных долин	Гидрокарбонатный	Натриевая	I (HCO <sub>3</sub> -Na)	Ультрапресные	0,05	Нейтральные (7,0)
Подземные воды в вулканогенных и интрузивных породах К <sub>2</sub> и Р-N			I (HCO <sub>3</sub> -Na)	Ультрапресные	0,06	Нейтральные (6,8)
Водоносный горизонт J-K <sub>1</sub> терригенных пород			I (HCO <sub>3</sub> -Na)	Пресные	0,18	Слабощелочные (7,7)
Напорные воды зон тектонических нарушений			I (HCO <sub>3</sub> -Na)	Пресные	0,41	Слабощелочные (7,6)
<b>Природные подземные воды Кавалеровского района</b>						
Общественный колодец	Гидрокарбонатный	Кальциевая	II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,05	Слабокислые (6,01)
Родник 1			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,06	Нейтральные (7,29)
Родник 2			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,03	Нейтральные (7,43)
<b>Природные поверхностные воды Дальнегорского района</b>						
Озеро	Гидрокарбонатный	Кальциевая	II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Пресные	0,18	Слабощелочные (7,6)
р. Рудная (1100 м выше Краснореченска)			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,05	Нейтральные (6,93)
р. Рудная (7 км выше от хвостохр. ЦОФ)			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Пресные	0,12	Слабощелочные (7,81)
р. Рудная (16 км выше от хвостохр. ЦОФ)			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,09	Слабощелочные (7,85)
р. Рудная (21 км выше от хвостохр. ЦОФ)			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,09	Слабощелочные (7,61)
<b>Природные поверхностные воды Кавалеровского района</b>						
Ручей в пгт Рудный (фон)	Гидрокарбонатный	Кальциевая	I (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,07	Нейтральные (7,29)
р. Высокогорская (фон)			I (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,04	Нейтральные (7,43)
р. Хрустальная (фон)			II (HCO <sub>3</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,06	Нейтральные (7,03)

**Таблица 2 – Типизация техногенных вод района**

Исследуемые воды	Класс	Группа	Тип	Вид вод	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Группа вод по значению рН
Техногенные воды Дальнегорского района						
Ручей из-под дамбы старого хвостохр. КОФ	Сульфатный	Кальциевая	II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Умеренно пресные	0,53	Слабокислые (6,43)
Среднее течение ручья старого хвостохр. КОФ			IV (SO <sub>4</sub> -Ca)	Слабосоленоватые	1,27	Кислые (4,61)
Место впадения ручья в р. Рудная			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,17	Нейтральные (6,65)
р. Рудная в 100 м выше от т. 3			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,12	Нейтральные (6,9)
Вода в прудке 1 старого хвостохр. КОФ			IV (SO <sub>4</sub> -Ca)	Слабосоленые	10,19	Сильнокислые (2,48)
Вода в прудке 2 старого хвостохр. КОФ			IV (SO <sub>4</sub> -Ca)	Сильносолоноватые	5,84	Сильнокислые (2,33)
Ручей из-под дамбы нового хвостохр. КОФ			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,14	Нейтральные (7,08)
Вода в прудке нового хвостохр. КОФ			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,13	Нейтральные (7,1)
Место впадения ручья в р. Рудная			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,15	Нейтральные (7,35)
р. Рудная в 100 м выше от т. 11			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,11	Нейтральные (7,26)
р. Рудная в 100 м ниже от т. 11			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Ультрапресные	0,09	Нейтральные (7,42)
Вода в прудке нового хвостохр. ЦОФ			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,22	Щелочные (8,48)
р. Рудная в 1500 м от нового хвостохр. ЦОФ			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,16	Слабощелочные (8,34)
Техногенные воды Кавалеровского района						
Дубровское (шт.1)	Сульфатный	Кальциевая	II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Умеренно пресные	0,96	Нейтральные (7,3)
Дубровское (ниже шт. 1 на 500 м)			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,34	Нейтральные (7,26)
Высокогорское (шт.2)			III (SO <sub>4</sub> -Ca)	Пресные	0,30	Нейтральные (7,31)
Хрустальное (шт.3)			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Умеренно пресные	0,84	Нейтральные (7,43)
Фабричный (шт.4)			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Умеренно пресные	1,0	Слабощелочные (7,63)
Верхнее (шт.5)			II (SO <sub>4</sub> -Ca)	Слабосоленоватые	1,5	Нейтральные (7,2)

сильнокислых до щелочных. По химическому составу воды принадлежат к сульфатному классу, группе кальция, второму и четвертому типу ( $S^{\text{Ca}}_{\text{II-IV}}$ ). Минерализация рудничных вод Кавалеровского района изменяется от 0,30 до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, значения pH от 7,26 до 7,63. По химическому составу воды относятся к сульфатному классу, группе кальция, второму и третьему типу ( $S^{\text{Ca}}_{\text{II-III}}$ ).

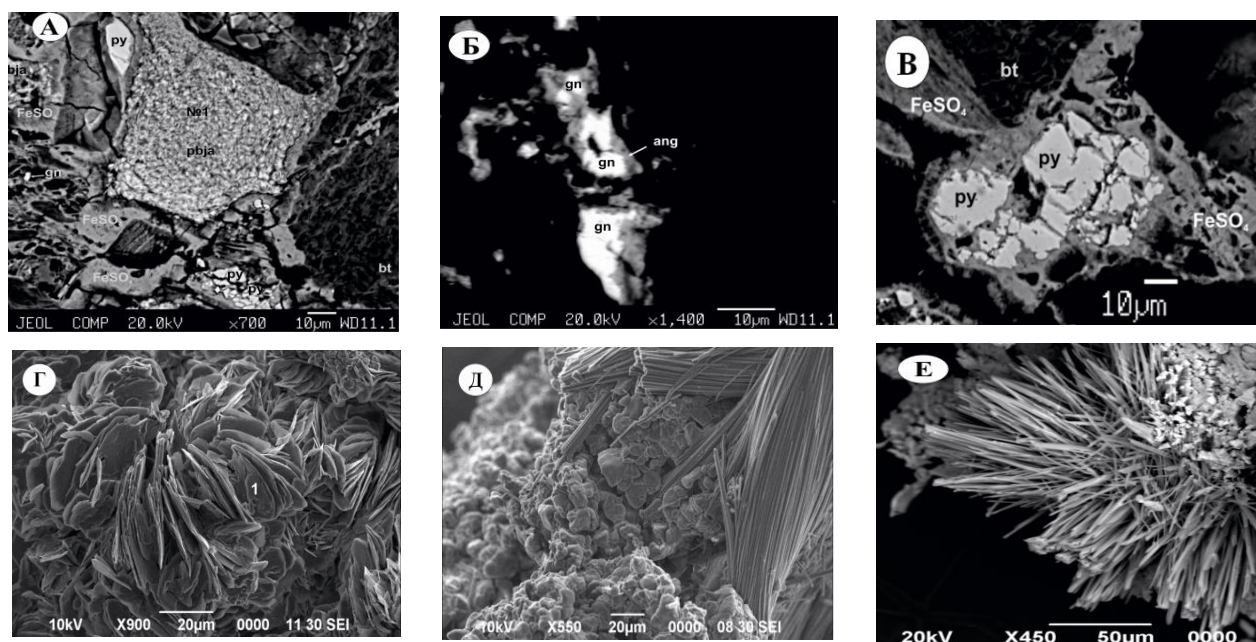
***Защищаемое положение 2.** Гидрогенное минералообразование играет важную роль в формировании химического состава вод, способствуя выводу из раствора элементов и дальнейшему растворению водовмещающих пород. Геохимические характеристики вторичных минералов указывают на кислотно-щелочные условия их формирования, насыщенность минералообразующих растворов теми или иными элементами и формы их миграции. В слабощелочных и близнеитральных водах миграция осуществляется в форме незакомплексованных ионов и комплексов-ассоциатов с участием анионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{OH}^-$ . В составе сильнокислых высокоминерализованных растворов основными формами нахождения и миграции являются простые катионные ионы, а в комплексообразовании значительная роль отводится  $\text{SO}_4^{2-}$ -иону.*

Проблема вторичного минералообразования в хвостохранилищах возникла в результате интенсивно развивающихся диагенетических преобразований, вызванных процессами выщелачивания, окисления и гидролиза. Ведущим минералообразующим процессом в геотехногенных системах является сульфатизация – процесс образования минералов класса сульфатов, в которое вовлекается как природное, так и техногенное вещество (Белогуб и др., 2007; Alpers et al., 2000). Являясь водорастворимыми минеральными образованиями, они способствуют миграции токсичных металлов, оказывая серьезную экологическую нагрузку на водные экосистемы.

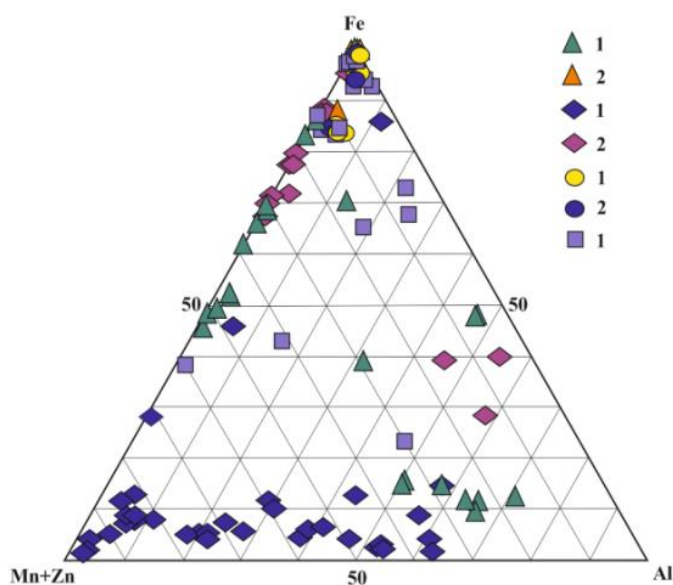
С целью изучения химического состава минералов и определения в них концентраций элементов примесей в т.ч. токсичных, в хвостохранилищах КОФ Дальнегорского района изучены гипогенные и гипергенные минералы. Наиболее распространенными гипогенными минералами являются: 1) нерудные, представленные кварцем, хлоритом, биотитом и калиевым полевым шпатом, их доля в общем балансе составляет 75–95 %; 2) рудные, количество которых колеблется в пределах 5–25 %, представлены пиритом, сфалеритом, галенитом, пирротинном, арсенопиритом, фрейбергитом и касситеритом; 3) акцессорные минералы – монацит и апатит. Установлено, что гипогенные минералы в условиях гипергенеза неустойчивы, а механизм их преобразования может быть описан инконгруэнтным растворением, в результате которого часть твердой фазы переходит в раствор, обогащая его токсичными металлами (Pb, Zn, As, Cd, Sb, Cu, Fe), а другая образует вторичные минеральные фазы.

В результате изучения гипергенных минералов установлено три минеральные

ассоциации, обусловленные различными механизмами гипергенной трансформации: 1) вторичные минералы, образующиеся в результате процессов выветривания и окисления (рисунок 1 – А); 2) вторичные минералы в виде каймы замещения, вокруг сульфидных минералов (рисунок 1 – Б, В); 3) минералы, кристаллизующиеся на испарительном геохимическом барьере, в составе которых выделены водорастворимые сульфаты группы мелантерита, розенита, бутлерита и фиброферрита (рисунок 1 – Г, Д, Е). Тройная диаграмма Mn+Zn–Fe–Al, составленная по формульным единицам вторичных минералов представлена на рисунке 2.



**Рисунок 1** – Плюмбогорзит (А); кайма англезита, развивающаяся по галениту (Б); кайма вокруг пирита (В); морфоструктуры мелантерита (Г, Д) и алюминиевого розенита (Е).



**Рисунок 2** – Тройная диаграмма Mn+Zn–Fe–Al составлена по формульным единицам мелантерита, розенита, бутлерита и фиброферрита хвостохранилищ Дальнегорского района.

**Условные обозначения:** треугольники – мелантерит, ромб – розенит, кружки – бутлерит, квадрат – фиброферрит. Хвостохранилища КОФ: 1 – старое; 2 – новое.

По результатам выполненных рентгеноспектральных анализов выяснены особенности химических составов минералов в хвостохранилищах КОФ, на основании чего рассчитаны их кристаллохимические формулы (таблица 3) и определены формы вхождения экологически опасных элементов в кристаллические структуры минералов (таблица 4).

**Таблица 3 – Кристаллохимические формулы минералов**

№ образца	Кристаллохимические формулы	Минералы
1.	$Pb_{0,91}Fe_{0,05}Cu_{0,02}Sb_{0,02}S_{1,00}$	Галенит
2.	$Zn_{0,78}Fe_{0,22}Mn_{0,01}S_{1,00}$	Сфалерит
3.	$Fe_{1,02}As_{0,03}S_{1,95}$	Пирит
4.	$Fe_{0,37}As_{0,35}S_{0,38}$	Арсенопирит
5.	$Cu_{4,12}Ag_{4,85}Zn_{0,20}Fe_{3,08}Sb_{3,61}S_{13,13}$	Фрейбергит
6.	$(Ce_{0,48}La_{0,20}Nd_{0,14}Pr_{0,04}Ca_{0,05}Fe_{0,08}Th_{0,01}K_{0,01})(P_{0,95}Si_{0,07})O_4$	Монацит
7.	$(Ca_{3,71}Si_{0,62}Fe_{0,33}Al_{0,28}K_{0,11}Ce_{0,02}Nd_{0,02})(P_{2,62}O_{11,82})F_{1,59}$	Апатит
8.	$Pb_{0,12}Fe_{0,76}Zn_{0,05}K_{0,05}Al_{0,02}[SO_4]_4(OH)_{12}$	Плюмбоярозит
9.	$Fe_{0,97}As_{0,02}Si_{0,01}[SO_4] \cdot 7H_2O$	Мелантерит
10.	$Al_{0,63}Mn_{0,16}Fe_{0,09}Zn_{0,08}Mg_{0,04}[SO_4] \cdot 7H_2O$	Алюминиевый мелантерит
11.	$Mn_{0,64}Mg_{0,15}Zn_{0,15}Fe_{0,03}Al_{0,02}[SO_4] \cdot 4H_2O$	Илезит
12.	$Zn_{0,68}Fe_{0,29}Mn_{0,03}[SO_4] \cdot 4H_2O$	Бойлеит
13.	$Fe_{0,79}Mg_{0,11}Mn_{0,06}Zn_{0,04}[SO_4] \cdot 4H_2O$	Розенит
14.	$Fe_{0,97}Mn_{0,02}Al_{0,01}[SO_4]OH \cdot 5H_2O$	Фиброферрит
15.	$Fe_{0,75}As_{0,10}Zn_{0,07}Al_{0,06}Mn_{0,02}[SO_4](OH) \cdot 2H_2O$	Бутлерит

**Таблица 4 – Формы вхождения экологически опасных элементов в гипогенные и гипергенные минералы хвостохранилищ КОФ**

Элементы	Форма	
	Собственная минеральная	Изоморфная и микропримесная
Pb	Галенит, плюмбоярозит, англезит	$FeSO_4$
Zn	Сфалерит, цинкмелантерит, бойлеит	Хлорит, биотит, вермикулит, гипс, плюмбоярозит, $FeSO_4$ , розенит, илезит, бутлерит, фиброферрит
As	Арсенопирит	Пирит, биотит, гипс, плюмбоярозит, мелантерит, бутлерит, фиброферрит
Cu	Фрейбергит	Галенит, фиброферрит
Fe	Пирит, пирротин, арсенопирит, фрейбергит, биотит, плюмбоярозит, мелантерит, ярозит, розенит, фиброферрит, бутлерит	Сфалерит, галенит, кварц, апатит, монацит, гипс, базальминит, илезит, бойлеит
Sb	Фрейбергит	Галенит, $FeSO_4$
Ag	Фрейбергит	Пирит
Mn	Илезит	Сфалерит, гипс, $FeSO_4$ , розенит
Al	Хлорит, биотит, ПШ, базальминит, ярозит	Касситерит, $FeSO_4$ , апатит, гипс, плюмбоярозит, мелантерит, розенит, илезит, бойлеит, бутлерит, фиброферрит

Таким образом, на данной стадии развития техногенной системы активно протекают процессы выщелачивания и гидролиза силикатов и алюмосиликатов, окисления сульфидов с формированием кислых вод. Стадия кислотопродуцирования сопровождается образованием на испарительном барьере минеральных фаз группы сульфатов, концентрирующих широкий спектр токсичных элементов, которые в зоне гипергенеза неустойчивы, полностью растворяются и в процессе самопроизвольной миграции поллютанты поступают в водные объекты.

На основании физико-химического моделирования ионного состава раствора при изменяющихся объемных соотношениях твердой и жидкой фаз изучены особенности изменения химического состава природных вод в зоне гипергенеза, установлены концентрации и формы миграции химических элементов в растворе. Методика физико-химического моделирования гидрогеохимических комплексов заключалась в выполнении серии расчетов равновесного состояния системы «вода-порода-газ». Задавались внешние условия при которых находится система ( $T = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 1\text{ атм}$  и химические потенциалы каждого вполне подвижного компонента). При моделировании выбраны следующие соотношения масс Т/Ж: 1 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 12 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 14 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 20 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , 30 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$  и 50 г.п./1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ . Достоверность результатов моделирования оценивалась по соответствию рН среды, минерализации (TDS), мг/кг  $\text{H}_2\text{O}$  и составу новообразующихся минеральных фаз природным параметрам.

Анализ результатов физико-химического моделирования показал, что в пресных слабощелочных и близонейтральных водах, имеющих низкие положительные значения окислительно-восстановительного потенциала и невысокие значения ионной силы раствора – 0,0026, преобладающими формами существования элементов, определяющих макро- и микрокомпонентный состав раствора, являются анионные и простые катионные формы. К второстепенным формам относятся карбонатные, гидрокарбонатные, нитратные и гидроксокомплексы. В данных геохимических условиях среды (TDS – 180,21 мг/кг  $\text{H}_2\text{O}$ , рН – 7,93, Eh – 0,7475) набор равновесных с раствором минералов, представлен: FeOOH (гетит) – 54,67 %;  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (гидраргиллит) – 23,71 %;  $\text{Al}_{0,1384}\text{Al}_{1,29}\text{Fe}_{0,335}\text{Mg}_{0,445}(\text{Al}_{0,18}\text{Si}_{3,82}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  (монтмориллонит) – 18,87;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (бианкит) – 2,68 %;  $\text{Cu}_4\text{Al}_2[\text{SO}_4](\text{OH})_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (вудвардит) – 0,05 %.

При изменении объемных соотношений твердой и жидкой фаз, имитирующих увеличение времени взаимодействия растворов с породой, формируются сильноокислые (рН 2,46 – 2,48) растворы, минерализация которых изменяется от 9614,95 до 25634,22 мг/кг  $\text{H}_2\text{O}$ , величина Eh – 1,0698 – 1,0715 вольт. Установлено, что содержание основных ионов, с увеличением массы породы, закономерно растет (мг/кг  $\text{H}_2\text{O}$ ):  $\text{SO}_4^{2-}$ -ион ( $1,5094\text{e}+01$ – $1,1801\text{e}+04$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $3,4457\text{e}+00$ – $2,7228\text{e}+02$ ),  $\text{Na}^+$  ( $6,5476\text{e}+00$ – $3,9334\text{e}+02$ ),

$K^+$  ( $9,9922e+00-4,8907e+02$ ), также наблюдается рост концентраций и микрокомпонентов. В сильноокислых растворах основной формой миграции элементов являются простые катионные формы, а высокие концентрации  $SO_4^{2-}$ -иона обуславливают значительную долю миграции элементов в виде комплексов-ассоциатов с его участием.

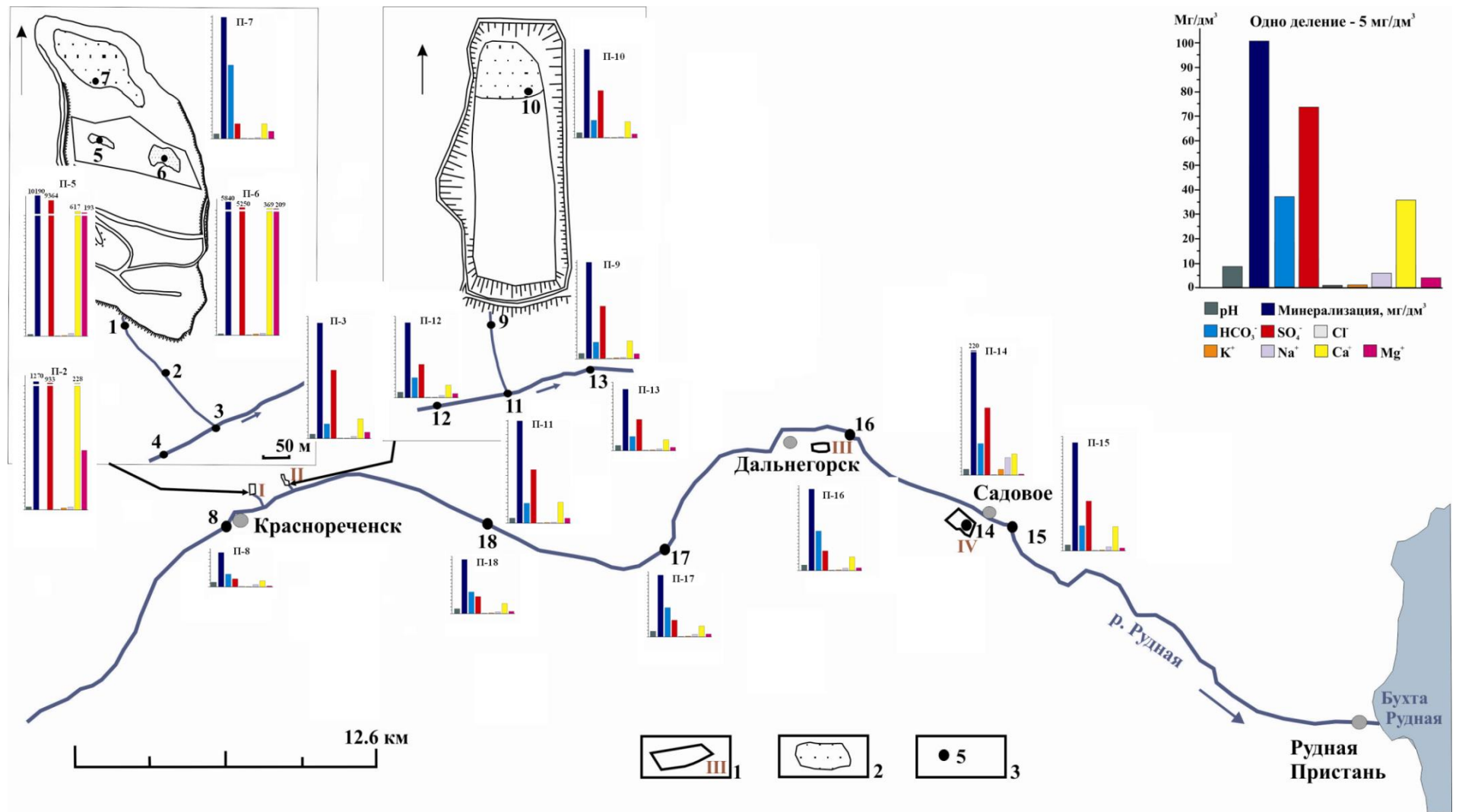
Изучение равновесно-неравновесного состояния сильноокислых водных растворов в системе «вода-порода-газ» позволило установить, что при изменении объемных соотношений Т/Ж фаз в растворе увеличивается содержание алуногена от 12,38 до 20,66 %, монтмориллонита от 1,99 до 3,85 % и фиброферрита от 12,79 до 19,48 %, однако содержание бианкита и гипса наоборот, постепенно снижается (0,06–0,00 % – бианкит, 72,78–56,01 % – гипс).

Одним из важных процессов, в результате которого происходит формирование химического состава вод и растворение водовмещающих пород, является неравновесность воды с гипогенными минералами. Расчеты значений индексов неравновесности вод к различным минералам показали, что все рассматриваемые воды неравновесны с первичными алюмосиликатами (альбит, анортит, анальцит), но равновесны с вторичными минералами (каолинитом, иллитом, Са-, Mg-, Na-монтмориллонитом), кроме этого рудничные воды штолен Кавалеровского района насыщены относительно кальцита и способны высаживать его в виде вторичных минералов.

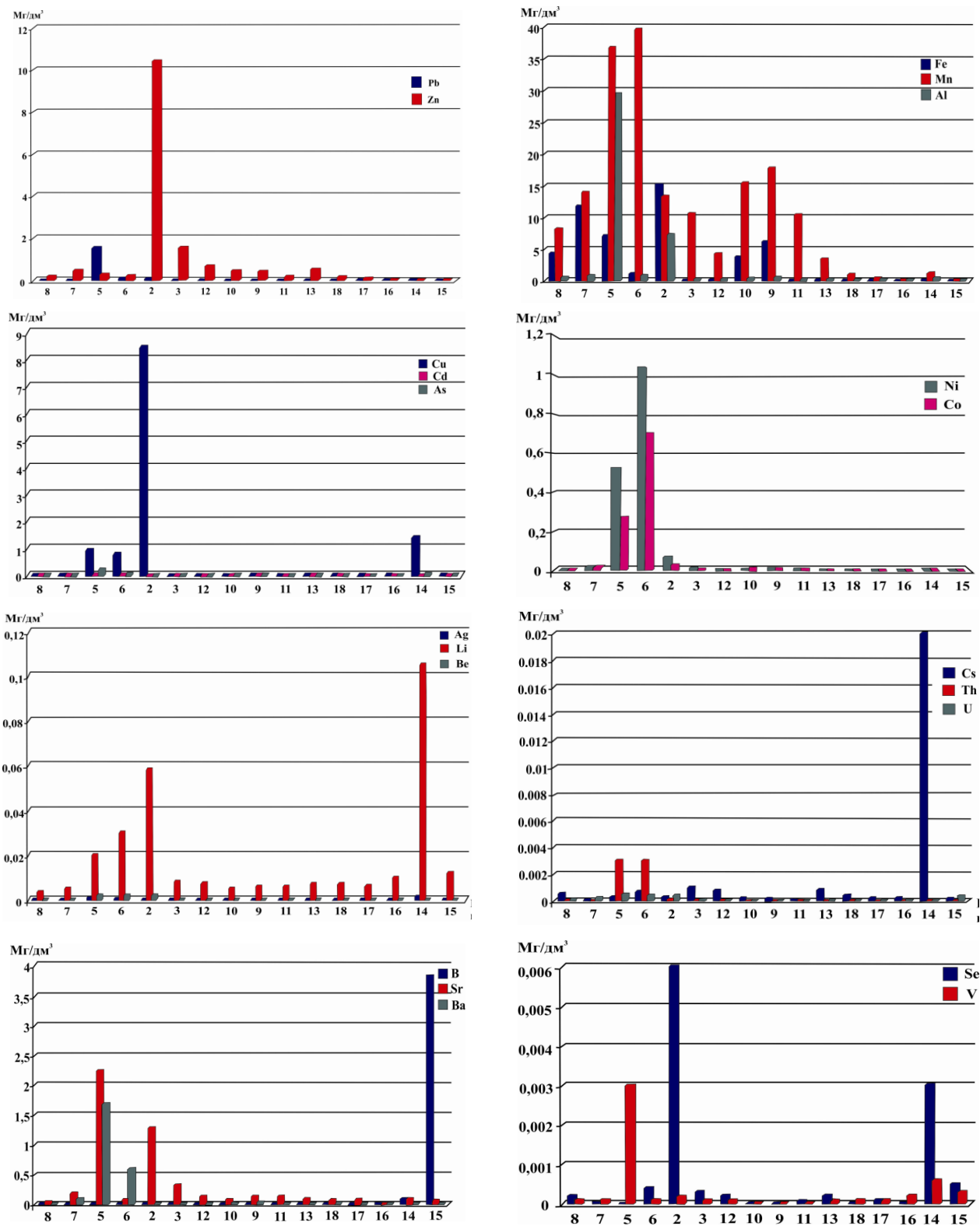
*Защищаемое положение 3. Воды бассейнов р. Рудной и р. Зеркальной испытывают значительную техногенную нагрузку, которая обуславливается воздействием дренажных стоков с хвостохранилищ и ликвидированных штолен, характеризующихся высоким содержанием токсичных элементов. Влияние носит локальный в пространстве характер и определяется объемами загрязненных вод и водностью рек-приемников. Возможен рост содержаний токсичных элементов в дренажных стоках в результате активизации геохимических процессов и увеличения времени взаимодействия воды с горной породой, что отразится на качестве вод в поверхностных водотоках.*

Эколого-гидрогеохимические исследования позволяют утверждать, что основным источником загрязнения вод среднего течения р. Рудной являются стоки продуцируемые объектами горнопромышленного техногенеза, в которых выявлены высокие содержания  $SO_4^{2-}$ -иона (1,02–93,64 ПДК), Mg (2,14–5,22 ПДК) и Са (1,27–3,43 ПДК) (рисунок 3). Основными загрязнителями являются: Zn (2,8–1041,0 ПДК), Pb (6,33–255,0 ПДК), As (1,03–4,12 ПДК), Cd (1,74 ПДК), Cu (1,3–8450,0 ПДК), Fe (1,74–152,1 ПДК), Ni (5,9–104,0 ПДК), Co (2,7–70,3 ПДК), Mn (27,0–3960,0 ПДК), Al (3,93–737,75 ПДК), Li (7,0–150,14 ПДК), Be (4,7–7,0 ПДК), Se (1,11–2,8 ПДК), V (3,37 ПДК) и В (1,43 ПДК), характер распределения которых в водах р. Рудной представлен на рисунке 4.





**Рисунок 3** – Схема распределения макрокомпонентов в водах среднего течения р. Рудной: 1 – контуры: I – старого хвостохранилища КОФ; II – нового хвостохранилища КОФ; III – старого хвостохранилища ЦОФ; IV – нового хвостохранилища ЦОФ; 2 – озеро (прудук); 3 – точки отбора проб воды

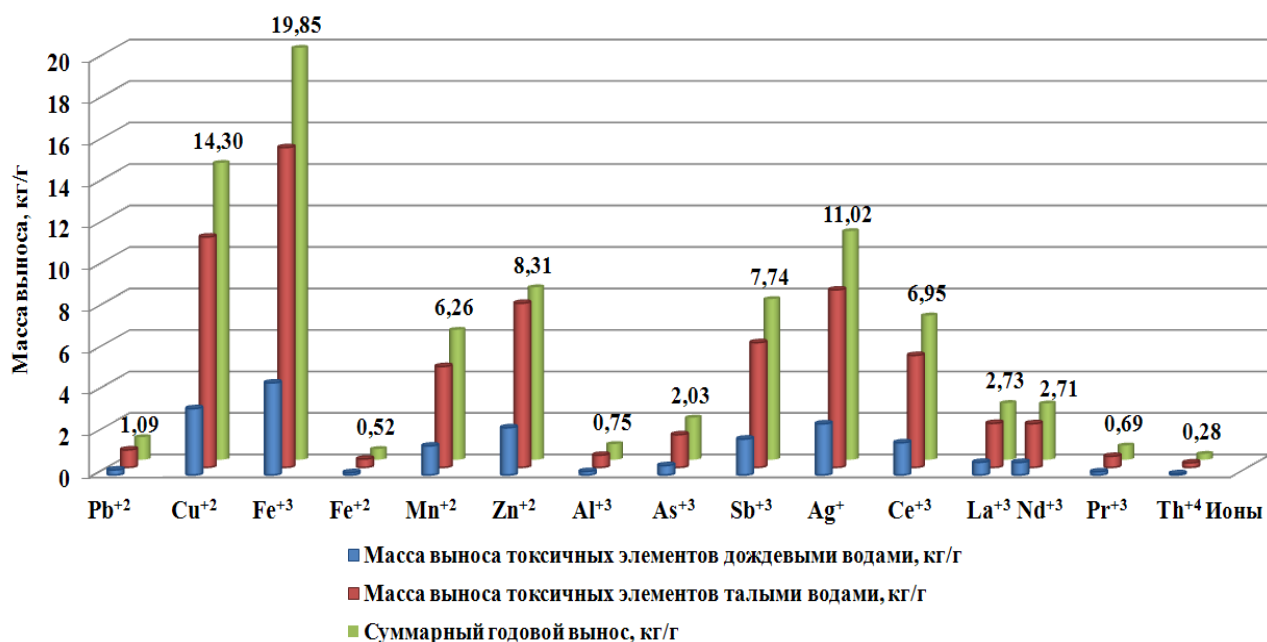


**Рисунок 4** – Распределение микрокомпонентов в водах р. Рудной

Примечание. По горизонтали указан номер пробы.

Данные диаграмм свидетельствуют о том, что наиболее высокие концентрации загрязнителей фиксируются в точках наблюдения, расположенных в непосредственной близости от хвостохранилищ КОФ и ЦОФ.

На основе результатов моделирования процессов гипергенного преобразования рудных и техногенных минеральных фаз, для более наглядной иллюстрации степени потенциальной экологической угрозы для водных объектов, выполнен расчет суммарного годового выноса токсичных элементов поверхностным стоком с территории старого хвостохранилища Краснореченской обогатительной фабрики на водосборную площадь и непосредственно в воды р. Рудной. Результаты представлены на рисунке 5.



**Рисунок 5** – Суммарный годовой вынос токсичных элементов поверхностным стоком с хвостохранилища Дальнегорского района

В Кавалеровском районе зона рудничных водоотливов дренируется реками бассейна р. Зеркальной (р. Высокогорская, р. Хрустальная, р. Кавалеровка). Анализ химического состава рудничных вод показал, что в местную гидросеть они выносят следующие токсичные элементы в концентрациях, значительно превышающих ПДК для рыбохозяйственных водоемов: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-ион (1,7–9,6 ПДК), Fe (2,2–29,56 ПДК), Cu (2,0–9,9 ПДК), Zn (2,56–22,1 ПДК), Pb (2,05–6,07 ПДК), Mn (2,06–24,88 ПДК) и Li (48,1–651 ПДК), Si (1,2 ПДК), Co (1,64 ПДК) и Ni (1,69–4,82 ПДК), что приводит к изменению геохимического фона в местах слияния техногенных и природных вод.

Таким образом, наблюдаемые загрязнения природных водоносных комплексов и поверхностных водотоков носят локальный в пространстве характер (~ 1–2 км). Они определяются объемами поступления загрязненных вод, близостью или удаленностью источника загрязнения и водностью реки-приемника.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований получены результаты, которые можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для экологической науки при изучении минералого-геохимических преобразований в природно-техногенных геологических системах на территории горнорудных районов Приморского края. Основные результаты заключаются в следующем:

1. На общем фоне природных вод, выделяются участки техногенно-трансформированных вод по спектру элементов макрокомпонентного ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и микрокомпонентного состава (Zn, Pb, Cd, As, Cu, Fe, Mn, Al, Li). Распределение микроэлементов в водных потоках зависит от близости или удаленности источника загрязнения (рудной зоны, хвостохранилища), кислотности-щелочности растворов и наличия геохимических барьеров (щелочного, карбонатного и др.), на которых происходит массовое осаждение элементов.

2. Установлено, что в природно-техногенной системе в слабощелочных водах химические элементы мигрируют в форме незакомплексованных ионов и комплексов-ассоциатов с участием анионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{OH}^-$ . В сильноокислых высокоминерализованных растворах преобладают катионные ионы в количествах, значительно превышающих фоновые и предельно-допустимые, а в комплексообразовании значительная доля приходится на  $\text{SO}_4^{2-}$ -ион.

Результаты физико-химического моделирования показали, что наибольшую опасность для экосистемы реки Рудной представляют ионные и комплексные соединения, главными из которых являются  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{MnSO}_4^0$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{FeOH}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{BeOH}^+$ ,  $\text{SnO}^0$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{MoO}_4^{-2}$ ,  $\text{WO}_4^{-2}$ ,  $\text{VO}_2^+$ ,  $\text{UO}_2^{+2}$ ,  $\text{Zr(OH)}^{+3}$ ,  $\text{LaSO}_4^+$ ,  $\text{Ce}^{+3}$ ,  $\text{NdSO}_4^+$ ,  $\text{SmSO}_4^+$ ,  $\text{EuSO}_4^+$ ,  $\text{Gd}^{+3}$ ,  $\text{TbSO}_4^+$ ,  $\text{DySO}_4^+$ ,  $\text{ErSO}_4^+$ ,  $\text{YbSO}_4^+$ ,  $\text{LuSO}_4^+$ , формирующиеся в результате гипергенного преобразования рудных и техногенных минералов.

3. Выявлено, что в хвостохранилищах сконцентрированы потенциально опасные для природной экосистемы химические элементы, концентрации которых значительно превышают кларки в литосфере. К ним относятся вещества I класса опасности – Pb, Zn, Cd и As, степень вредного воздействия которых на окружающую природную среду очень высока, II класса – Cu и Co, III класса – Mn и W, характеризующие отходы как высоко и умеренно опасные для окружающей среды. Анализ распределения элементов на глубину показал, что концентрации всех элементов, за исключением Be и Li, с глубиной увеличиваются.

4. Профили распределения РЗЭ для старого и нового хвостохранилищ КОФ имеют схожие черты с выраженными положительными аномалиями Eu, Tb, Yb и слабо

выраженными отрицательными аномалиями Nd, Gd и Tm при небольшом дефиците церия. В толще хвостохранилищ происходит фракционирование РЗЭ, с глубиной наблюдается незначительное снижение величины  $(LREE/HREE)^N$ .

5. В результате изучения гипергенных минералов из хвостов обогащения установлено три минеральные ассоциации, обусловленные различными механизмами гипергенной трансформации: 1) вторичные минералы, образующиеся в результате процессов выветривания и окисления; 2) вторичные минералы в виде каймы замещения, вокруг сульфидных минералов; 3) минералы, кристаллизующиеся на испарительном геохимическом барьере. Выполненные рентгеноспектральные анализы минералов позволили выяснить особенности их химического состава, на основании чего были рассчитаны кристаллохимические формулы и определены количества и формы вхождения различных токсичных элементов (Pb, Zn, As, Cu, Sb, Ag, Mn, Al, Fe) в их структуры.

6. Механизмы взаимодействия природных и рудничных вод с вмещающими породами и моделирование равновесий в системе «вода-порода» указывают на четко выраженный равновесно-неравновесный характер. Рудничные воды Кавалеровского района равновесны с каолинитом, иллитом, Na-, Mg-, Ca- разностями монтмориллонита, кальцитом и неравновесны с первичными алюмосиликатами.

Моделирование равновесного с ионным раствором минерального состава в техногенной системе хвостохранилища КОФ позволило установить, что в слабощелочном растворе достигается равновесие с гетитом, гидраргиллитом, монтмориллонитом, бианкитом, вудвардитом и церусситом. Сильнокислые высокоминерализованные растворы равновесны с алуногеном, монтмориллонитом и фиброферритом, содержание которых увеличивается при изменении объемных соотношений вода-порода, а также с гипсом и бианкитом, концентрации которых в тех же геохимических условиях среды, снижаются.

На основании вышеприведенных данных можно констатировать, несмотря на то, что в настоящее время прекращена эксплуатация большинства горнопромышленных объектов, это не означает прекращения воздействия геологических объектов (горные породы, минералы) и горнорудных объектов (горные выработки, хвостохранилища) на окружающую среду. Оно продолжается в результате гипергенной переработки сульфидов, вскрытых горными выработками или складированных в виде сульфидсодержащих отходов. Учитывая, что в зоне гипергенеза изменения протекают с большими скоростями, чем в естественных геологических условиях, их воздействие на природные ландшафты, скорее всего, будет увеличиваться. А проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды в районах развития горнорудного производства, еще длительное время не утратят своей актуальности.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК*

1. **Оводова, Е.В.** Инженерно-экологические изыскания при оценке последствий ликвидации шахт в Раздольненском каменноугольном бассейне Приморского края / И.А. Тарасенко, А.В. Зиньков, Е.В. Оводова // Инженерные изыскания, 2013. – № 3. – С. 28–37.
2. **Оводова, Е.В.** Геохимия хвостохранилищ Краснореченской обогатительной фабрики (Дальнегорский район, Приморский край) / Е.В. Оводова, И.А. Тарасенко, Н.А. Нагорнова, Л.А. Сальникова // Вестник ДВО РАН, 2016. – № 5. – С. 43–51.
3. **Оводова, Е.В.** Трансформация минералого-геохимического состава отходов обогащения и ее влияние на формирование высокоминерализованных вод (Приморский край, Россия) / И.А. Тарасенко, Н.А. Харитоновна, Е.В. Оводова, А.В. Зиньков, А.В. Корзун // Тихоокеанская геология, 2017. – Т. 36.– № 2. – С. 106–118.
4. **Оводова, Е.В.** Отходы Краснореченской обогатительной фабрики (Приморский край, Россия): геохимия и минералогия / И.А. Тарасенко, Н.А. Харитоновна, А.В. Зиньков, **Е.В. Оводова**, А.В. Корзун // Вестник Московского университета, 2017. Серия 4. Геология. № 2. С. 35–41.
5. **Ovodova, E.V.** Tailing Dumps at the Krasnorechenskaya Concentration Mill (Primorskii krai, Russia): Geochemistry and Mineralogy / I.A. Tarasenko, N.A. Kharitonova, A.V. Zin'kov, E.V. Ovodova, A.V. Korzun // Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 4: Geologiya, 2017. – №. 2. – pp. 35–41.

### *Статьи в журналах и материалы в сборниках научных конференций*

6. **Оводова, Е.В.** Оценка влияния горнопромышленного комплекса Кавалеровского рудного района на состояние подземных вод / Е.В. Оводова, Е.В. Горобейко // Вестник Инженерной школы ДВФУ, 2014. – № 1. – С. 40–46.
7. **Оводова, Е.В.** Исследование химического состава подземных вод оловорудных месторождений Приморья / Е.В. Оводова, Е.В. Горобейко // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т. 1 – С. 509–511.
8. **Оводова, Е.В.** Геохимическое исследование лежалых хвостов обогащения Ярославского горно-обогатительного комбината / Е.В. Оводова, Ж.А. Шагина, С.С. Кялунзига // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Том I. – С. 746–748.

9. **Оводова, Е.В.** Гидрогеохимические особенности природных и техногенных вод Дальнегорского рудного района (Приморье) / Е.В. Оводова, А.В. Зиньков, Л.А. Сальникова // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием: г. Владивосток, 2015. – С. 298–301.

10. **Оводова, Е.В.** Геохимия металлов в гидрогеосистемах Дальнегорского рудного района (Приморский край, Россия) / Е.В. Оводова, А.В. Зиньков, Л.А. Сальникова // Современные технологии и развитие политехнического образования: Международная научная конференция, г. Владивосток, 2015. – С. 224–227.

11. **Оводова, Е.В.** Техногенное минералообразование в хвостохранилищах Краснореченской обогатительной фабрики (Приморский край, Россия) / Е.В. Оводова, И.А. Тарасенко, А.В. Поселюжная, Я.Е. Тагильцев // Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений: II между. Научно-практ. конф.: сб. докл. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. – С. 147–154.

12. **Оводова, Е.В.** Распределение редкоземельных элементов в природных и техногенных водах бассейна реки Рудной (Приморье) / Е.В. Оводова, Е.В. Горобейко // Современные исследования в геологии: Сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции; С-Петербургский государственный университет, 2015. – С. 100–102.

13. **Оводова, Е.В.** Геохимия и минералогия лежалых хвостов обогащения (Дальнегорский рудный район, Приморский край, Россия) / И.А. Тарасенко, Е.В. Оводова, А.В. Зиньков, В.И. Петухов // Современные технологии и развитие политехнического образования: Международная научная конференция, г. Владивосток, 2015. – С. 263–267.

14. **Ovodova, E.V.** Geochemistry of metals in hydrogeosystems of Dalnegorsky ore region (Primorsky territory, Russia) / E.V. Ovodova, A.V. Zin'kov, L.A. Salnikova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. EES № 87, 2017. – pp. 23–30.

15. **Ovodova, E.V.** Geochemistry and mineralogy of old concentration tailings (Dal'negorsky. ore district, Primorsky krai, Russia) / I.A. Tarasenko, A.V. Zin'kov, E.V. Ovodova, V.I. Petukhov, I.V. Solyanik // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. EES № 87, 2017. – pp. 81–89.