



УТВЕРЖДАЮ:
Директор Института водных проблем
Севера КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН
Н.Н.Филатов
2019 г.

ОТЗЫВ

Института водных проблем Севера – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»
(ИВПС КарНЦ РАН)

о диссертационной работе **Мазухиной Светланы Ивановны**
«ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ АРКТИЧЕСКОЙ ЗРНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА: РЕКОНСТРУКЦИЯ, ПРОГНОЗ,
СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА),
представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по
специальности 25.00.36 – Геоэкология

Диссертационная работа объемом 283 машинописных страницы состоит из 6 глав, введения, заключения и списка использованных литературных источников (375 наименования). Во **введении** обоснованы актуальность темы, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, а также отражены положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе** представлена информация о термодинамическом моделировании взаимодействия «порода-вода-атмосфера» как основного метода исследования по теме диссертации, в качестве которого была взята модель И.П. Карпова, известного ученого в этой области, и реализованная в программном комплексе (ПК) «Селектор». Кроме того, дано описание основных параметров и возможностей ПК в исследовании водных объектов, описанных в соответствующих главах. В основу модели заложен принцип химического равновесия, которому отвечает минимальное значение энергии Гиббса. Рассмотрены также особенности интерпретации данных химических анализов природных вод, и показана необходимость построения термодинамических моделей «водный раствор-атмосфера», позволяющих определять истинные формы элементов.

Во **второй главе** рассматривается формирование химического состава поверхностных и подземных вод Хибинского массива с использованием физико-химической модели (ФХМ) «вода-порода-атмосфера-углерод» на основе данных по химическому составу пород Хибинского массива, атмосферных осадков и поверхностных вод. В ФХМ включено 24 независимых компонента (Al, B, Br, Ar, He, Ne, C_{орг}, Ca, Cl, F, K, Mg, Mn, N, Na, P, S, Si, Sr,

Во **второй главе** рассматривается формирование химического состава поверхностных и подземных вод Хибинского массива с использованием физико-химической модели (ФХМ) «вода-порода-атмосфера-углерод» на основе данных по химическому составу пород Хибинского массива, атмосферных осадков и поверхностных вод. В ФХМ включено 24 независимых компонента (Al, B, Br, Ar, He, Ne, C_{орг}, Ca, Cl, F, K, Mg, Mn, N, Na, P, S, Si, Sr, Cu, Zn, H, O), 872 зависимых компонента, в том числе 295 в водном растворе, 76 – газовой фазе, 111 – жидких углеводородов, 390 – органических и неорганических веществ. Результаты моделирования химического состава поверхностных вод в пределах Хибинского массива показали близкие значения к данным натурных наблюдений по более 10 водным объектам. Минеральные фазы, существование которых предсказано в физико-химических моделях (мусковит, гетит, монтмориллонит, иллит, каолинит, гиббсит) соответствуют новообразованиям, обнаруженным в Хибинском щелочном массиве в результате выщелачивания пород.

Наряду с поверхностными водами в диссертации рассмотрено формирование химического состава подземных вод Хибинского массива. Результаты мониторинга подземных вод в районе месторождения Куэльпор оказались сопоставимы с результатом их моделирования по содержанию Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺ и др. элементам. Проведенное моделирование изменения химического состава подземных вод в зависимости от различного соотношения «вода-порода» и величины температуры показало, что время взаимодействия и температура оказывают основное влияние на изменение pH, Eh, ox-red условий и приводят к увеличению концентрации HCO₃⁻, F⁻, Al, переход в раствор Fe, Mn и других элементов.

В **третьей главе** рассмотрен химический состав поровых вод донных отложений и дан прогноз влияния хвостов обогащения апатитнефелиновых руд на окружающую среду. Термодинамическое моделирование взаимодействия «порода-вода-углерод-минералы» для трех хвостохранилищ (АНОФ-1, АНОФ-2, АНОФ-3) позволило получить данные по химическому составу поровых вод с различных глубин их залегания, которые хорошо согласуются с результатами натурных наблюдений. Кроме того, установлен состав новообразованных фаз в поровых водах для хвостохранилища АНОФ-2, которые представлены гидрослюдами, кремнеземом и другими продуктами выветривания алюмосиликатов. Исследование взаимодействия поровых вод нижних слоев хвостохранилища с породой и ОВ показало возможность формирования ox-red барьера (переход с окислительных на восстановительные условия), который способствует переходу в раствор Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr⁺, Mn²⁺ и Fe²⁺.

В зоне влияния хвостохранилищ АНОФ-2 и АНОФ-3 рассмотрено формирование химического состава подземных вод. Данные моделирования хорошо согласуются с результатами натуральных наблюдений. Проведенное моделирование показало, что подземные воды, находящиеся вблизи хвостохранилищ, – это бескислородные воды, содержащие органические вещества и высокие концентрации K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , F^- , Ca^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} .

В этой главе также представлены результаты моделирования влияния техногенных вод горнорудного производства на химический состав водных объектов – их водоприемников (рек Белая, Жемчужная), оз. Имандра (губа Белая). Результаты моделирования дали очень близкие значения концентраций элементов к аналитически установленным. Содержание элементов в самих техногенных водах на 1-2 порядка выше, чем в природных водах региона. Поступление техногенных вод оказывает существенное влияние на химический состав речных вод и губы Белая оз. Имандра. Их воздействие отражается на увеличении содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , росте величины рН и уменьшении концентрации O_2 .

Кроме того, в диссертации рассмотрено смешение техногенных вод и чистых озерных, а также эволюция вод губы Белая при различных вариантах поступления техногенных вод АП или при их отсутствии. Анализ представленных результатов по главным ионам показал, что модель хорошо отражает состояние губы Белая за многолетний период.

В четвертой главе дана реконструкция экологической катастрофы на оз. Большой Вудъявр в тридцатые годы прошлого столетия. Для этих целей с помощью ФХМ был рассчитан состав природных вод оз. Б. Вудъявр и техногенных вод Ловчорритовой фабрики и Опытного завода в тот период. Оценено влияние техногенных вод на оз. Б. Вудъявр с помощью динамической модели. Результаты моделирования показали, что техногенные воды Ловчорритовой фабрики – это бескислородные воды с большим содержанием олеиновой кислоты, используемой в качестве флотореагента. Наличие последней потребовало рассмотрение трансформации ОВ в воде на примере нефтяных углеводородов. Разработанная автором динамическая модель включала 5 взаимодействующих резервуаров (атмосфера-поверхностные воды-ОВ-придонные воды-донные отложения). В результате моделирования установлено, что значительная часть компонентов техногенных вод переходит в осадок, а некоторая их часть в результате трансформации – в газовую фазу.

Пятая глава фактически посвящена оценке влияния погрешности аналитических данных на результаты моделирования, т.е. касается вопросов достоверности данных, полученных в ходе ФХМ в предыдущих главах с использованием критериев Лапласа, Вальда и Гурвица на примере контрольной зоны оз. Имандра. В результате работы установлено, что если все критерии дают один и тот же результат, то следует, что, хотя все данные в модели заданы с интервалами неопределенности, само решение оказалось весьма достоверным и проблем, связанных с геохимической интерпретацией результатов, не возникает.

В **шестой главе** рассмотрены возможности использования геохимических барьеров для снижения поступления тяжелых металлов со сточными водами обогатительных фабрик. С помощью моделирования удалось обосновать механизм извлечения Cu, Ni и Fe из растворов с использованием местного сырья (смеси серпофита, кальцита и доломита). Последнее имеет большое значение для решения вопросов охраны окружающей среды.

В **заключении (выводах)** отражены основные результаты диссертационной работы.

В целом следует отметить, что диссертационная работа С.И. Мазухиной посвящена очень важной и актуальной теме – применимости термодинамического моделирования для оценки формирования химического состава природных и загрязненных вод на примере водных объектов Кольского полуострова. Автором разработана новая методология, позволяющая оценивать состояние водных объектов, давать прогноз их изменений и реконструировать их режим в прошлом.

В частности, на основе ФХМ автору удалось выяснить причины некондиционности вод в районе Хибинского массива, дать оценку эволюции выведенных из эксплуатации и действующих хвостохранилищ АП, а также установить влияние техногенных вод хвостохранилищ на химический состав поверхностных и подземных вод в зоне их влияния.

С.И. Мазухиной с помощью ФХМ удалось реконструировать экологическую катастрофу на оз. Большой Вудъявр в тридцатые годы прошлого столетия. Существенным достижением диссертанта является разработка очистки техногенных вод горнодобывающей промышленности от цветных металлов на геохимических барьерах, создаваемых на смеси серпофита, кальцита и доломита.

Диссертационная работа С.И.Мазухиной соответствует трем областям исследования специальности 25.00.36:

1. природная среда и ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной, в том числе горнодобывающей, деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод, возникновение и развитие опасных техноприродных процессов, наведенные физические поля, деградация криолитозоны, сокращение ресурсов подземных вод;
2. разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение и утилизация отходов;
3. геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов.

Практическая значимость диссертационной работы С.И. Мазухиной заключается в том, что ее результаты могут быть использованы для прогноза формирования химического состава вод, испытывающих антропогенное воздействие предприятий горнопромышленного комплекса Кольского полуострова. Предложенная схема послойной очистки вод, содержащих тяжелые металлы, может применяться для их водоочистке и водоподготовки. Ее методология с успехом может быть применена и на других предприятиях горнодобывающей промышленности страны. Материалы диссертации широко освещены в научной печати. По теме диссертационной работы опубликовано 56 работ, из них 23 в журналах перечня ВАК, в двух монографиях.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. По диссертационной работе имеются ряд замечаний:

1. В диссертации отсутствуют сведения по термодинамическим характеристикам растворения минералов, которые использовались для ФХМ. В этой связи необходимо было оформить приложение.
2. Не очень понятна терминология «метастабильные» соединения такие, как ацетаты Mg, Na, Ca.
3. В тексте диссертации и автореферата при написании химических символов зачастую отсутствуют заряды главных ионов. Общепринято писать заряды ионов в следующем виде n^+ , m^- , а не наоборот, как в некоторых разделах диссертации.
4. В диссертации отсутствует характеристика вод по минерализации и их типизация по ионному составу по Алекину или по Курлову, что важно для установления генезиса вод. Так, природные воды в районе Хибинского массива – гидрокарбонатные натриевые, техногенные – сульфатные натриевые, а зоны смешения – сульфатно-гидрокарбонатные натриевые.

5. Отличительным признаком окислительно-восстановительных реакций является изменение степени окисления атомов в реагирующих молекулах, что при гидролизе не происходит (за редким исключением). Поэтому говорить, что при гидролизе идут окислительно-восстановительные процессы, как указано на стр. 29 диссертации, нельзя.
6. Странным является утверждение, что «легкие углеводороды (обычно алканы и арены) в силу своих физических свойств **не испаряются**».

Указанные замечания скорее носят уточняющий характер, а не принципиальный, и они не влияют на общее хорошее впечатление о работе.

В заключении отметим, что диссертационная работа С.И. Мазухиной отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор Светлана Ивановна Мазухина заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.36 геозкология.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета ИВПС КарНЦ РАН (протокол № 6 от 25.09.2019 г.).

Заведующий лабораторией геологии
и геодинамики докембрия Института геологии
КарНЦ РАН, член Ученого Совета
ИВПС КарНЦ РАН, д.г.-м.н.

А.И. Слабунов

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ВЕДУЩИЙ ДОКУМЕНТОВЕД
Л. В. ТИТОВА *Л.В.*
«25» сентября 2019 г.



Ст. н. сотр. лаборатории гидрохимии и
гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН,
член Ученого Совета
ИВПС КарНЦ РАН, к.х.н.

А.В.Рыжаков



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Главный документовед
Н.Ю. Григорьевская
«25» сентября 2019 г.