

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шевко Елизаветы Павловны на тему «Физико-химическая модель формирования активных газогидротерм Камчатки и Курильских островов» по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, представленную диссертационному совету Д999.170.03.

Работа посвящена решению фундаментальной проблемы реконструкции глубинного строения и эволюции газогидротермальных систем активных вулканов Курило-Камчатской островной дуги. Целью является разработка количественных моделей формирования и транспорта гидротермальных флюидов, закономерностей изменения их состава по пути подъёма и взаимодействия с породами, определение источников вещества для контрастных типов газогидротерм. На основе комплексного подхода к исследованию активных вулканов, включающего методы геохимии, геофизики, петрологии, термодинамические расчёты решены вопросы генезиса, транспорта, концентрирования широкого круга химических элементов с проекцией на всю флюидо-магматическую систему.

Актуальность выбранной темы определяется необходимостью исследования процессов в глубинах вулcano-гидротермальных систем, большинство наблюдений и замеров параметров выполнены только в приповерхностной части. Развитие современных методов исследования позволяет применить комплексный подход, который позволяет дать ответ о процессах, происходящих в глубинах системы. Физико-химическое и термодинамическое моделирование взаимодействий вода-порода является мощным инструментом определения закономерностей и особенностей миграции флюида, химических реакций на пути его движения, генезиса элементов в поверхностных разгрузках. В работе описаны все этапы

формирования термальных вод: отделение от магматической камеры, подъем по разрезу, фазовые переходы (разделение на газ и жидкость), смешение с пластовыми и поверхностными водами, взаимодействие с вмещающими породами.

Научная новизна исследований и полученных результатов определяется получением новых фактических данных по составам флюида вулcano-гидротермальных систем с использованием современных методов анализа, разработкой физико-химические модели гидротермальных систем в зависимости от геологического строения, выявлением зон фазового разделения флюида с помощью сочетания геохимических данных с результатами геофизического зондирования, определением дифференциации химических элементов на фазовых барьерах с количественной оценкой относительной подвижности элементов.

Практическая значимость работы. Современные гидротермальные системы используются для получения электрической и тепловой энергии, однако эксплуатация геотермальных скважин зачастую приводит к снижению энтальпии теплоносителя. Например, на Мутновской ГеоТЭС периодически возникает снижение мощности относительно расчетных показателей. Результаты данной работы открывают возможность для более точного прогноза поведения геотермальных систем, в том числе в условиях отбора теплоносителя из пародоминирующих зон.

Важным научным результатом также является развитие физико-химических и термодинамических моделей формирования, эволюции и функционирования вулcano-гидротермальных систем с количественным описанием процессов миграции и отложения химических элементов во флюиде при его взаимодействии с вмещающими породами и разгрузке на поверхности. Этот подход позволяет предсказать возникновение высоких концентраций потенциально токсичных элементов в термальных водах, применяемых в бальнеологических целях или сбрасываемых геотермальными станциями в окружающую среду.

Текст диссертации изложен на 209 страницах, включающих введение, заключение, шесть глав, заключение и список литературы. Список литературы содержит 143 наименования.

Глава 1 «Состояние проблемы» содержит обзор литературы по строению и геохимии вулcano-гидротермальных систем в мире. Статистика публикаций за последние 5 лет однозначно свидетельствует, что исследования в России современных термальных систем сильно отстают от мирового уровня в количественных показателях. Эта глава имеет небольшой объем, но содержит краткий обзор применения геофизических методов и термодинамического моделирования для исследования процессов в недрах вулcano-гидротермальных систем.

Вторая глава, «Методы» содержит описание полевых, аналитических и расчетных методов, использованных в работе. Особое внимание уделено полевым методам, которые являются основой результатов работы, и методам моделирования, разработанным при активном участии автора работы. К описанию полевых методов исследования и аналитическим методикам исследования вещества замечаний не возникло, но описание разработанных методов термодинамического моделирования выполнено, на мой взгляд, неполно и поверхностно.

В третьей главе «Географическое, геологическое и петрологическое описание объектов исследования» приведены схемы опробования вулканических комплексов, геологические, петрологические и геохимические данные для горных пород изученных вулканов. Эти данные являются надежной основой для дальнейшего исследования вода-порода.

В главе 4, «Гидрогеохимия термальных источников и генезис элементов в их составе» приводятся оригинальные данные по составу растворов термальных источников, фумарольных газов, проведено их сопоставление с составом вулcanoгенных пород. Большое внимание в главе посвящено поровым водам осадков из кислых термальных котлов, что раньше не находило детального исследования. Исследования кислых

вулканических вод такой детальности и комплексности выполнено впервые. Результаты получены с использованием оригинальных методик опробования и современных аналитических методов, что подтверждает их достоверность. Большой фактический материал и разнообразие изученных вулкано-гидротермальных систем полностью обосновывают **первое защищаемое положение работы.**

Пятая глава «Подповерхностное строение термальных полей и подводящих каналов» демонстрирует результаты изучения строения вулкано-гидротермальных методами электроразведки и МТЗ и интерпретацию результатов с точки зрения гидрогеохимии. Эта глава содержит является новым подходом в интерпретации геофизических данных для выявления внутреннего строения вулкано-гидротермальных систем и позволяет сделать выводы о составе глубинного флюида. Для этого использованы данные по свойствам и составу растворов, приведенные в предыдущей главе. Материалы четвертой и пятой глав полностью обосновывают **второе защищаемое положение.**

Шестая, заключительная, глава «Физико-химические модели функционирования вулкано-гидротермальных систем» объединяет результаты исследования глубинного строения вулкано-гидротермальной системы, составов растворов и пород для построения физико-химической модели. Показаны различия развития вулкано-гидротермальных систем в зависимости от строения разреза и условий выхода газогидротерм на поверхность. Эта часть работы является пионерским исследованием, демонстрирующим комплексный подход для решения важной геологической задачи. Результаты позволили установить эволюцию вулкано-гидротермальной системы в реальном временном исчислении, что имеет большое значение для расчета запасов тепловой энергии и оценки эволюции теплоносителя при эксплуатации термального флюида для геотермальных станций. Результаты расчетов модели хорошо воспроизводят наблюдаемые природные закономерности, что

обосновывает высокую достоверность результатов. Содержание главы 6 полностью обосновывает **третье защищаемое положение**.

Таким образом, **выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации представляются обоснованными**.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется большим объемом природных данных, применением современных аналитических методов, использованием разных подходов, как геохимических, так и геофизических. Исследования выполнены с использованием современной аппаратуры.

Физико-химические модели вулкано-гидротермальных систем, разработанные автором, имеют большую **значимость для науки и практики**. Они могут быть использованы для реконструкции условий формирования экономически важных месторождений полезных ископаемых, для решения вопросов дифференциации элементов в земной коре, эксплуатации месторождений геотермальной энергии. Новые данные по геохимии ультракислых вулканических вод имеют фундаментальное значение и составляют новую главу в гидрохимии природных вод.

В целом, текст диссертации обладает внутренним единством и свидетельствует о большом личном вкладе автора в науку. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Большой объем исследований позволил получить новые и оригинальные данные. Теоретические обобщения работы имеют огромное значение для понимания природных процессов и являются существенным вкладом в геохимию природных вод.

К работе имеется **ряд замечаний**:

1. Замечание к главе 2 состоит в том, что разработанный при участии автора программный комплекс, объединяющий ПК Селектор и ПК Флюид не описан. Приведены лишь базовые уравнения, используемые для создания алгоритма. Блок-схема программного комплекса не показана.

Вместе с тем, в этой главе приводится концептуальная геологическая модель, использованная для расчетов. Такая модель построена с учетом данных автора, полученных в других главах. Вряд ли ее можно относить к методам расчетов, поскольку, очевидно, предложенный программный комплекс предназначен для решения гораздо более широкого круга геологических задач.

2. К сожалению, в автореферате при обсуждении результатов главы 4 закралась досадная оговорка: ультракислые воды «...отличаются особенно низкой кислотностью» (с. 15 автореферата, последний абзац). Но в тексте диссертации правильно указано, что эти воды характеризуются низкими, даже отрицательными, значениями pH.

3. В практической значимости работы автор полностью упускает проблему использования геотермальной энергии. Вместе с тем, полученные автором результаты дают уникальную возможность предсказать поведение геотермальных систем в процессе эксплуатации теплоносителя. Такие прогнозы особенно важны с учетом проблем в работе Мутновской ГеоТЭС, где снижается энтальпия флюидов.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертационная работа Шевко Елизаветы Павловны на тему «Физико-химическая модель формирования активных газогидротерм Камчатки и Курильских островов» по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, представленную диссертационному совету Д999.170.03, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, что соответствует требованиям что соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842,

предъявляемым к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения
искомой ученой степени доктора геолого-минералогических наук по
специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поиска
полезных ископаемых.

Официальный оппонент,
профессор, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре,
профессор РАН

10 сентября 2018 г.

Бычков А.Ю.

Подпись Бычкова А.Ю. удостоверяю:
Зав.кафедрой геохимии, профессор

М.В.Борисов

Декан геологического факультета
академик



Д.Ю.Пушаровский