

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Кох Светланы Николаевны

на тему «Минералообразующая и транспортная функции грязевулканических систем»,  
представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук  
по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические  
методы поисков полезных ископаемых»

**Актуальность темы диссертации** обусловлена, как минимум, двумя моментами.

Во-первых, безусловно, интересно и важно получить новую информацию о процессах грязевого вулканизма, как о специфическом, но широко распространенном явлении природы. Явлении, закономерно связанном с определенными геологическими структурами, приводящему к масштабному перераспределению горных пород, минералов, химических элементов (и их изотопов), а также подземных вод в пределах крупных осадочных комплексов. Это фундаментальный научный аспект, который имеет и практический выход в сфере строительства, мелиорации, экологии, поиска месторождений полезных ископаемых и т.п.

Во-вторых, оппонент рассматривает гидротермальные системы грязевых вулканов как одну из разновидностей современных низкотемпературных гидротермальных систем, не связанных напрямую с магматическими процессами. Таким амагматическим гидротермальным системам в последнее время уделяется пристальное внимание в связи изучением рудных месторождений Cu, Pb, Zn, Ag, Ba, Fe, Mn и др., локализованных в осадочных бассейнах и, возможно, пространственно и генетически связанных с залежами углеводородов. Одним из направлений исследований амагматических рудоносных систем является поиск их современных аналогов. В таком контексте интерес к газо-гидротермальным системам грязевых вулканов приобретает особый смысл и значение. По всей видимости, мы имеем дело с «действующими природными лабораториями», где хотя бы отчасти воспроизводится низкотемпературное гидротермальное перераспределение элементов, потенциально приводящее формированию рудных залежей.

Здесь нельзя не обратить внимание на то, что те же геологические структуры Кавказа, которые вмещают изученные С.Н.Кох грязевулканические системы, продолжаются на восток, и на территории Западно-Туркестанской впадины содержат осадочные толщи с термальными рассолами, обогащенными цветными металлами – это «жидкие руды» Pb, Zn, Cd, Cu и др. месторождения Челекен. Близкие примеры, где в осадочных толщах рудоносные отложения Fe, Mn и Ba ассоциируют с подводными метановыми сипами (морскими аналогами грязевых вулканов) и погребенными в осадках залежами углеводородов (в том числе газогидратов) можно привести для Охотского моря и других регионов. Связь грязевого вулканизма с развитием процессов рудогенеза вполне вероятна и заслуживает самого пристального внимания.

Отсюда и актуальность представленных в диссертации исследований. Комплексное изучение газо-гидротермальных систем грязевых вулканов должно связать воедино геологические обстановки формирования гидротермальных растворов, условиях их миграции и разгрузки, закономерности насыщения некоторыми химическими элементами и обусловленные этим

процессы минерало-, а возможно и рудообразования. Все это блестяще реализовано в рецензируемой диссертации С.Н.Кох.

**Общая оценка диссертации.** Диссертация С.Н.Кох представляет фундаментальный цельный труд объемом 472 страницы из 7 глав и списка литературы на 517 наименований.

Материал подал логично и системно. Последовательно рассмотрены общие геологические и геохимические особенности четырех опорных провинций грязевого вулканизма (Керченско-Таманской, Сахалинской, Илийской и Каспийской), методические подходы и конкретные методы исследований, полученные результаты. Данна всеобъемлющая характеристика изученных грязевулканических провинций, включающая в себя сведения о химическом составе газовых и водных растворов, геохимии и минералогии твердых выбросов грязевых вулканов, продуктов кристаллизации из грязевулканических вод и, наконец, специфика химического и фазового состава пирогенных пород, связанных с возгоранием метана на грязевых вулканах.

Автором диссертации сведен воедино и проанализирован огромный массив оригинальных геохимических данных по распределению в различных составляющих частях грязевулканических систем главных и редких химических элементов, изотопов кислорода, углерода, водорода и серы. Основное внимание в работе уделено изучению закономерностей распределения B, Li, Hg, As, Na, Cl, C, Br, Ca, Mg и Sr. Но, вместе с тем, приведены также и данные и по большому набору других элементов, в том числе и рудных металлов Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Sb, Ag, Tl, Pb и др.

Полноценно изучены шесть главных групп минералов, образование которых связано с процессами грязевого вулканизма. Это: 1) главные минералы песчано-глинистой фракции отложений, слагающий основной объем вулканических построек, 2) аллотигенные акцессорные минералы тонко-обломочной фации глин (минералы искусственных шлихов), 3) аутигенные минералы глинистых отложений (карбонаты, сульфиды, сульфаты, самородные элементы); эта группа особенно интересна, поскольку показывает рудоносный потенциал гидротермальных систем в отношении Pb, Zn, Cu и других металлов. 4) минералы – производные упаренных вод (хлориды, бораты, карбонаты и сульфаты Na, Ca, Mg), 5) минералы травертиновых источников (карбонаты, хлориды); 6) минералы пирогенных пород.

Минералогические исследования проведены С.Н.Кох с «ювелирной филигранностью», что предельно наглядно показывают приведенные в диссертации многочисленные микрофотографии минералов.

Все полученные данные проинтерпретированы с позиции современных представлений о процессах грязевого вулканизма с поправкой на оригинальные взгляды С.Н.Кох и результаты проведенных ею исследований.

Диссертация написана хорошим русским языком, легко читается. Все разделы работы прекрасно проиллюстрированы геологическими схемами вулканических провинций, фотографиями районов работ, отдельных грязевых вулканов или их участков с разным типом минерализации, микрофотографиями минералов, разного рода минералогическими и геохимическими диаграммами.

Текст диссертации в полной мере демонстрирует понимание её автором, Светланой Николаевной Кох, проблематики выполненных исследований, владение информацией в области изучения геохимии и минералогии низкотемпературных газо-гидротермальных систем и

высокотемпературных процессов пирометаморфизма, знание ключевых направлений текущих и будущих работ. С поискателем владеет методами научных исследований, интерпретации геологических и аналитических данных, широко представляет полученные оригинальные материалы в научной печати. Очевидно, что С.Н.Кох увлеченный, трудолюбивый, целеустремленный и широко эрудированный исследователь, обладающей высокой научной квалификацией.

**Новизна исследования, значимость для науки и практики полученных результатов.** В диссертации приведен огромный объем новой информации по широкому кругу вопросов геологии, геохимии и минералогии грязевых вулканов. Ценность работы заключается, прежде всего, в сведении всех полученных данные в единую согласованную систему и выполнении на этой фактической основе анализа разнообразных процессов минералообразования, связанных с грязевым вулканизмом.

Ценно и то, что представленные в диссертации С.Н.Кох материалы могут с успехом использоваться при анализе условий развития низкотемпературных гидротермальных систем в осадочных бассейнах с иными нежели грязевые вулканы геологических обстановками, с иным типом минерализации и потенциальной рудоносности. Тем самым расширяются знания по гидротермальным системам в целом.

Полученный С.Н.Кох массив научного знания рано или поздно найдет практическое применение в геохимии, экологии и других областях знаний.

Особо отметим значение результатов диссертации в сфере образования, что может рассматриваться как один из вариантов практической направленности выполненных С.Н.Кох исследований. Например, грязевые вулканы Керченского полуострова Крыма являются одними из наиболее посещаемыми объектами в период летних студенческих практик и многочисленных геологических экскурсий. Такие мероприятия регулярно проводятся коллективами СПбГУ, МГУ и других ВУЗов. По материалам диссертации С.Н.Кох можно создать прекрасный и познавательный путеводитель-справочник для подобных экскурсий. Такого рода труд был бы чрезвычайно востребован широким кругом специалистов и любителей.

**Личный вклад автора** четко и полно представлен в тексте диссертации. В областях проявления грязевых вулканов С.Н.Кох в период с 2008 по 2021 гг. провела 9 полевых сезонов, во время которых ею лично и при участии коллег выполнена большая работа по отбору большого числа образцов разного фазового состава (газы, жидкости, твердые тела). В дальнейшем С.Н.Кох принимала самое непосредственное участие в камеральных исследованиях, обработке, анализе и представлении полученных данных, написании многочисленных статей и самой диссертации.

**Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации.** Основные результаты исследований С.Н.Кох в кратком виде сформулированы в виде пяти защищаемых положениях и в заключении к диссертации. Корректность ключевых выводов подтверждается методически правильно организованными полевыми работами, грамотным отбором проб для лабораторных исследований и очень широким спектром задействованных в работе аналитических методов. Согласно тексту диссертации поискатель использовал 22 аналитических метода исследований. Кроме того, сюда же надо добавить методы

статистической обработки полученных результатов, экспериментальные методы по прокаливанию и плавлению пирогенных пород и пород протолита, методы численного моделирования воздействия теплового факела на породы грязевых вулканов. Трудно найти докторскую диссертацию, где был бы реализован столь широкой спектр методов и подходов. При обработке и интерпретации аналитических данных в полной мере учитывались современные представления в области геохимии низкотемпературных гидротермальных систем, процессов литогенеза и минералообразования.

#### **Дискуссионные положения и замечания по диссертации.**

1. В столь фундаментальном труде явно не хватает итоговой схемы (или нескольких схем), иллюстрирующей модель (или варианты моделей) развития минералообразующих систем грязевых вулканов. В диссертации есть отдельные схемы, показывающие различные фрагменты (этапы) такой системы, но недостает заключительного смелого шага к сведению полученных данных воедино.

2. В диссертации крайне бегло дана информация о магний-литиевом геотермометре. В главе 2 «Объекты и методы исследований» приводится формула расчета температур и ссылки на более ранние работы, где этот термометр использовался. Между тем хотелось бы видеть критический анализ: на чем основан данный термометр, его геохимические и термодинамические предпосылки, методические особенности применения, преимущества и ограничения, сопоставления с данными иных, независимых геотермометров. Ничего этого диссертационной работе С.Н.Кох, к сожалению, нет. А между тем данные, полученные с помощью этого геотермометра, постоянно приводятся в диссертации, и часто они являются единственными способами оценки температур. Причем, результаты выдаются с точность до градуса.

3. На диаграммах, показывающих соотношения изотопов кислорода и водорода в грязевулканических водах (например, рис. 3.1.5. на стр. 94 диссертации), приводится сравнение полученных автором результатов с данными для дегидратационных растворов глинистых осадков с одной стороны и современных метеорных с другой стороны. Между тем в качестве второго эталона для сравнения более корректной представляется не метеорная, а морская вода, которая захоранивается в осадках и, скорее всего, в намного большей степени влияет на состав поровых вод, чем метеорная вода. Интересно было бы для сопоставления использовать и метеорную, и морскую воду. Но просто проигнорировать морскую воду, видимо, неправильно.

4. Оппоненту представляется, что в диссертации недооценен ресурс рудных элементов в породах грязевулканических систем. Для объяснения образования галенита, сфалерита и других минералов соискатель по старинке привлекает весьма удаленные рудные месторождения в качестве гипотетических источников металлов. Так, для объяснения наличия в продуктах грязевулканических извержений Керченско-Таманской провинции сульфидов свинца, цинка и других цветных металлов нет никакой необходимости привлекать в качестве источника этих элементов полиметаллические месторождения Северного Кавказа (стр. 170 диссертации). Ресурса цветных металлов, сосредоточенных в качестве изоморфных примесей в обломочных минералах глин, вполне достаточно, чтобы сформировались акцессорные (а возможно и не только) количества галенита, сфалерита и других сульфидов. Аналогичным образом, здесь же марганцевая

минерализация наверняка формируется без участия руд крупнейшего в Европе Никопольского месторождения.

5. Автором диссертации получен очень интересный материал по изотопному составу серы сульфидных минералов, прежде всего пирита. В подавляющем большинстве анализов сера отличается тяжелым изотопным составом ( $\delta^{34}\text{S} > 0$ ), явно смещенным в сторону изотопного состава сульфата морской воды. Это очень интересно и заслуживает внимания – такой изотопный состав серы аутигенных сульфидов не часто встречается в осадочных породах. Жаль, что, неоднократно отмечая этот факт, в работе так и не приводится его объяснение. Делается лишь формальная (и ошибочная) ссылка (стр. 170 диссертации): «Достаточно тяжелый изотопный состав серы пирита (в сравнении с сульфатом морской воды  $\delta^{34}\text{S} \sim +20\text{‰}$  [Rickard, 2012])... свидетельствуют о его росте в глинистом осадке в анаэробных условиях при подавленной сульфат-редукции [Seal, 2006; Large et al., 2014; Sokol et al., 2018]». Это не так! Все как раз наоборот. Сульфат-редукция протекала очень активно, но в условиях замкнутой (в отношении серы) системы. В результате сульфиды обогащаются тяжелым изотопом серы, в идеале стремящимся к сере морского сульфата. Эти процессы обычно протекают на стадиях катагенеза. Не полное совпадение изотопного состава серы сульфидов с серой морского сульфата говорит о том, что процесс образования сульфидов, скорее всего начался на стадии диагенеза с накоплением в пирите изотопно-легкой серы, но затем был активно продолжен на последующих стадиях литогенеза и сопровождался утяжелением изотопного состава серы.

Более того. В диссертации С.Н.Кох на обширном материале показана яркая специфика изотопного состава минералов грязевулканических систем. А именно – обогащение их тяжелыми изотопами и кислорода, и углерода, и серы. Такой изотопный состав элементов имеет адекватное объяснение: тяжелый кислород – продукт дегидратации глинистых минералов, тяжелый углерод – «остаток» после отделения легкого изотопа углерода в метановые возгонь, тяжелая сера – как результат сульфат-редукции в закрытой системе. В совокупности же получается четкий и весьма специфичный набор геохимических индикаторов продуктов грязевого вулканизма, который можно использовать в реконструкции генезиса осадочных толщ разного геологического возраста.

Этот результат, безусловно, одно из значимых достижений соискателя. Данные об изотопно-геохимических маркерах литогенеза могли бы составить отдельное защищаемое положение или войти в уже существующее в диссертации положение № 3. Однако, при обилии представленного в диссертации фактического материала трудно упрекнуть С.Н.Кох в том, что не все данные рассмотрены одинаково детально и, тем более, в том, что в работе нет еще одного (шестого!) защищаемого положения. Тем ни менее, хочется обратить внимание, на возможность дополнительного анализа полученных С.Н.Кох изотопных данных в последующих исследованиях и публикациях.

6. Результаты не всех заявленных в главе 2 «Объекты методы исследований» методов представлены в работе. Например, рецензент не увидел в диссертации ИК и КР спектров минералов. Кроме того, хотелось бы видеть пояснения как были диагностированы некоторые минералы, например, водные сульфаты магния, натрия, бораты и некоторые другие.

7. По мнению оппонента в текст диссертации напрасно включен раздел, посвященный продуктам плавления при аварии на нефтегазовом месторождении Тенгиз в Казахстане. Этот

раздел не имеет прямого отношения к теме диссертационной работы, которая и так пересыщена фактическим материалом. Для обоснования пятого защищаемого положения вполне достаточно данных, полученных непосредственно на грязевых вулканах. Точно также не совсем правомерны встречающиеся в диссертации отсылки с пирометаморфическому объекту Хатруим (Израиль, Иордания). Вовсе не факт, что это палеогрязевой вулкан.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Ключевые результаты исследований в полной мере изложены в научной печати.

**Заключение.** Диссертация Кох Светланы Николаевны на тему ««Минералообразующая и транспортная функции грязевулканических систем» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена фундаментальная научная проблема определения источников вещества, задействованных в процессах грязевого вулканизма, механизмов его миграции, фракционирования и избирательного концентрирования в различных фазах (минералы, жидкость, газ), что имеет важное научно-практическое значение для геологии.

По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертация Кох Светланы Николаевны соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук согласно пп. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, от 01.10.2018 № 1168), а её автор, Кох Светлана Николаевна, достойна присуждения искомой ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Брусницын Алексей Ильич

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заведующий кафедрой минералогии  
Санкт-Петербургского государственного университета;  
199155 Санкт-Петербург, переулок Декабристов, дом 16.  
E-mail: a.brusnitsin@spbu.ru Телефон: +7-921-368-00-74

*B. Oregon*

Я, Брусницын Алексей Ильич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«15» октября 2024 г.

А.И.Брусницын

Поганко, Федор  
А.И. Поганко  
Уголовный

ЗАКЛЮЧЕНИЕ НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ ГУ

ХОМУТСКАЯ Л. Н.

