

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Фадеевой Ирины Игоревны «Количественная оценка содержания газогидратов в песчаных средах по данным лабораторных экспериментов»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности **1.6.9 – Геофизика**

Исследования газовых гидратов являются одним из интенсивно развивающихся направлений современной науки и техники. Основной причиной этого являются значительные запасы природного газа, находящихся в коре Земли в газогидратном виде. К настоящему времени проведено несколько успешных полевых экспериментов по добыче газа из природных газогидратов, наиболее существенные успехи в этой области достигнуты Китаем. Разведка скоплений газовых гидратов ведется комплексом геофизических методов, причем наиболее широко используются сейсмические методы. В то же время, часть скоплений газовых гидратов расположена в придонных зонах осадков морей и океанов. Использование сейсмических методов для их разведки не всегда целесообразно. Представленная диссертационная работа направлена на развитие новых методов разведки газовых гидратов. Это указывает, что **выбранное автором направление исследований является современным и актуальным.**

Научная новизна работы состоит в разработке новых способов количественной оценки содержания газогидратов в песчаных средах по данным теплофизических экспериментов. Автором создана модель, позволяющая рассчитывать содержание гидрата в породе на основе результатов этих экспериментов, выполнены эксперименты, позволившие подтвердить правильность предложенных расчетных методик.

Практическая значимость работы связана с тем, что полученные научные результаты и предложенные автором технические решения могут стать основой для создания погружных зондов, предназначенных для изучения гидратосодержания придонных слоев осадков водоемов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 3 статьях рецензируемых журналов из перечня ВАК и в большом числе объемных публикаций в материалах конференций. Получен один патент.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 197 наименований и двух приложений. Диссертационная работа изложена на 131 странице и включает 7 таблиц и 34 рисунка. Каждая глава заканчивается краткими выводами, суммирующими ее основное содержание.

Основное содержание работы. В работе соискателем предложено два способа оценки гидратосодержания сред с высокой (газ беспрепятственно покидает место разложения газогидрата) и низкой газопроницаемостью, где влиянием газа пренебрегать нельзя. Основная идея для первого способа состоит в проведении сравнительных теплофизических измерений, которые позволяют рассчитать затраченную на разложение газогидрата энергию и определить объем, в котором произошло его разложение. В результате обработки этих данных можно рассчитать массу газогидрата в единице объема среды вокруг нагревателя. Подход для второго способа состоит в измерении её теплоемкости в состояниях с гидратом в порах (в условиях стабильного существования газогидрата) и после его разложения (вне условий существования газогидрата). Разница в измеренных значениях теплоемкостей позволяет оценить количество содержащегося в ней газогидрата.

Способы предполагают проведение температурных измерений с помощью игольчатых зондов при разной мощности нагревателя. Результаты измерений аппроксимируются аналитическими решениями уравнения теплопроводности с разными постановками начальных и граничных условий, при нагреве гидратосодержащих сред в зоне стабильности гидратов и вне ее. Соискателем была сформулирована и решена обратная задача нахождения теплофизических параметров сред и оценки их гидратосодержания.

Для проверки предложенных способов в лабораторных условиях соискателем совместно с сотрудниками ИНХ СО РАН и ИНГГ СО РАН была создана экспериментальная установка, позволяющая изготавливать гидратосодержащие образцы с разной влажностью и газопроницаемостью, и определять их теплофизические характеристики. Погрешность измерений была не более 10 % в расширенном диапазоне теплопроводности от 0.02 до 5 Вт/(м·К). Изготовленные игольчатые зонды и измерительная аппаратура проверялись в калибровочных экспериментах на образцах с известными теплофизическими характеристиками, охватывающими большую часть осадочных пород от 0.1 до 4 Вт/(м·К).

Соискателем проведены эксперименты верифицирующие предложенные способы оценки гидратосодержания. Способ оценки гидратосодержания среды с высокой газопроницаемостью проверен на образце, сформированном в малой камере высокого давления (объемом около 200 см³) из кварцевого песка, воды и газа метана по методике М.Е. Пермякова, обеспечивающей равномерное распределение гидрата метана в объеме образца. Способ оценки гидратосодержания среды с низкой газопроницаемостью проверен на образце, сформированном в большой камере высокого давления (объемом около 1000 см³) из кварцевого песка, воды и диоксида углерода. Для создания образца большого объема с равномерным распределением газогидрата соискатель использовал углекислый газ при частичном насыщении пор образца водой (менее 50%). В результате независимые оценки, полученные по представленным в работе способам и по количеству газа, перешедшего в гидратную фазу в процессе образования гидрата, хорошо согласуются, что подтверждает работоспособность этих способов.

Соискателю удалось предложить математическую модель, позволяющую рассчитать гидратосодержание среды и сформулировать обратную задачу оценки гидратосодержания. Можно отметить, что априори возможность решения этой задачи не была очевидной. Также были созданы

собственные программы вычислений с предварительной подготовкой экспериментальных данных и с учётом известных, загружаемых в программу параметров измерительной системы. Однако ключевым аспектом предложенных способов оценки является равномерное распределение гидрата в среде, что в отношении реальных сред редко выполнимо. Об этом соискатель упоминает в своей работе, но не поясняет, можно ли использовать предложенный способ в случае неравномерного распределения гидрата.

Замечания по диссертационной работе

Принципиальные замечания по работе отсутствуют. Вместе с тем, можно высказать ряд замечаний, преимущественно связанных с оформлением работы и стилистикой автора.

1. Вызывает сожаление, что предлагаемые способы не проверены в реальных условиях. Это замечание можно считать пожеланием диссертанту для дальнейшей работы.
2. Следовало бы, по крайней мере, обсудить ситуацию, связанную с возможностью неоднородного распределения гидрата в породе.
3. В разделе «Научная новизна» (с.7-9) автор рассматривает не только научные результаты, но и созданные установки. Это явно не соответствует заголовку раздела.
4. Литобзор (особенно его первая часть) скомпонован и написан неудачно. Сильно привлекает стилистика. Так, на с.14 имеется предложение «Комбинируясь между собой, полости образуют структуру». Отсюда вопрос: Как именно комбинируются и какую структуру образуют? Ряд приводимых ссылок устарел или неверен. Так, например, при описании гидратов дается ссылка на работу Никитина 1956 г. очевидно, что в тех годах информации о гидратах было немного. При описании природных гидратов автор никак не акцентирует наличие двух типов гидратных скоплений в осадках водоемов (глубинные и придонные), хотя при обсуждении об этом упоминает. Некоторые утверждения просто неверны («Гексагональная ГС-III и

тетрагональная ТС-I структуры, как правило, являются метастабильными», с.15). Список оплошностей здесь, к сожалению, можно продолжить.

5. Использование усложненного форматирования текста (переход к рисунку или таблице при щелчке мыши на упоминание в тексте) привело к хронически неправильному использованию падежей («В Таблица 1 показано...»). При чтении работы это бросается в глаза. На с. 40 рис. 2.1 в легенду вынесены образцы и физическая величина с ее единицами измерения наравне с образцами, тогда как эта величина является характеристикой подаваемого сигнала, о чем и указано в подписи к рисунку. Аналогично, с.52 рис. 2.11

6. В экспериментальной части изготовленные автором зонды описаны недостаточно. Нет схемы зонда. Неясно, какую технологию использовал автор для заполнения зонда легкоплавким сплавом. Как соотносятся коэффициенты теплового расширения сплава и материала чехла? Как автор достигал расположения нагревателя «точно по оси зонда»?

7. Автор использовал зонды с чувствительностью в тысячные °С и термостат со стабильностью поддержания температуры 0.1°С. Как это отразилось на результатах?

8. На с.65 автор упоминает, что при определении объемной теплоемкости вносилась некая поправка, взятая из сравнения полученных автором данных с результатами, полученными эталонным методом. Как вносилась эта поправка?

9. В Главе 3 автор рассматривает результаты, полученные на однозондовой установке. Вместе с тем, на с. 84 автор пишет «Независимые измерения температуропроводности среды с метангидратом и без него (a_2 , a_1) проводились на том же образце с помощью двухигольчатого зонда при импульсном нагреве среды». Автор действительно переставлял зонды в тот же образец?

10. На с.86 автор рассчитывает три коэффициента Z_1 , Z_2 , Z_3 , а в расчетной формуле использует только два из них. Это верно?

11. На с.100 автор утверждает «Уменьшение теплопроводности вызвано увеличением рассеяния тепла, вероятно, из-за ухудшения сцепления зерен песка». При чем тут рассеяние тепла?

12. В Приложении Б (с.129) автор пишет «В случае, когда температура окружающей среды в начальный момент времени и на бесконечности равна 0...». В каких единицах дана температура, и ограничены ли выводы только этой температурой?

Сделанные замечания не снижают общей, достаточно высокой оценки работы. Защищаемые результаты несомненно получены диссертантом самостоятельно и не вызывают замечаний у оппонента. Автором созданы интересные экспериментальные установки, использована большеобъемная камера высокого давления и оригинальные измерительные системы. Второй и третий защищаемые результаты отражают суть предложенных в работе способов оценки гидратосодержания сред с высокой/низкой газопроницаемостью соответственно. Они дают совершенно новый подход оценки гидратосодержания пород и чувствительны к малым содержаниям газогидрата в породе за счет сопоставления измерений, проведенных в разных условиях. Способы применимы в условиях низких температур и высоких давлений и могут быть адаптированы для полевых работ погружными геотермическими зондами.

Оценивая работу в целом, следует сказать, что автор проявил высокую квалификацию, как в отношении постановки математической задачи, так и в технической её реализации. Поставленная задача решена для конкретной реализации гидратосодержащих образцов, но может служить новым инструментом анализа осадочных пород на наличие в них газогидратов. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационное исследование носит законченный характер. Апробация результатов работы проведена в авторитетных изданиях международного уровня, количество публикаций превышает необходимый

минимум, установленный ВАК Минобрнауки России. Поставленные в диссертации задачи выполнены, достоверность результатов и выводов, обоснованность защищаемых положений диссертации, их научная и практическая ценность сомнений не вызывают. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.9 – Геофизика. Автореферат полностью отражает основные результаты диссертационной работы и обосновывает выводы защищаемых положений.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

Соискатель Фадеева Ирина Игоревна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Старший научный сотрудник лаборатории клатратных соединений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат физико-математических наук,

Адамова Татьяна Петровна

27.03.2024

Почтовый адрес:

ИНХ СО РАН

пр. ак. Лаврентьева, д.3.

Новосибирск-90 630090

Тел.: +7 383 316-53-46

Электронная почта: адамова@niic.nsc.ru

Подпись Адамовой Т.П. заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
доктор химических наук



Герасько Ольга Анатольевна

Кандидат физико-математических наук,
Старший научный сотрудник
Института неорганической химии
им. А.В. Николаева СО РАН



Адамова Т.П.

Я, Адамова Татьяна Петровна, согласна на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Уч. секретарь ИИХ СО РАН
О.А. ГЕРАСЬКО
"17" 03. 2024

