

На правах рукописи



ПЕРМЯКОВ Михаил Евгеньевич

**ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
ГИДРАТОСОДЕРЖАЩИХ ОБРАЗЦОВ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ Р-Т-УСЛОВИЯХ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НОВОСИБИРСК 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук
Дучков Альберт Дмитриевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
Бондарев Эдуард Антонович

кандидат технических наук
Манштейн Александр Константинович

Ведущая организация:

**Геологический факультет МГУ
им. М.В. Ломоносова, г. Москва**

Защита диссертации состоится **30 апреля 2010 г. в 11 часов** на заседании Диссертационного совета Д **003.068.03** при Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, в конференц-зале.

Адрес: пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск-90, 630090

Факс: (383) 333-25-13

e-mail: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН

Автореферат разослан 22 марта 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н., доцент



Н.Н. Неведрова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объектом исследования является теплопроводность синтетических образцов, содержащих гидраты метана, при разных РТ-условиях.

Предмет исследования. Связь результатов измерения температуры и рассчитанных по ним значений теплопроводности с наличием в образце гидратов метана.

Актуальность исследований. Газовые гидраты – широко распространенные в природе кристаллические вещества. Они образуются и существуют при благоприятных термобарических и геохимических условиях и, как правило, встречаются в осадках глубоких водоемов и областях распространения криолитозоны. Интерес к субмаринным, и особенно поддонным, скоплениям газовых гидратов определяется, прежде всего, тем, что они рассматриваются как резерв углеводородного сырья. По имеющимся оценкам их энергетический потенциал превышает запасы всех прочих горючих ископаемых Земли. В настоящее время не разработаны геофизические методы поиска и оконтуривания поддонных залежей газовых гидратов. В первую очередь это обусловлено недостаточной изученностью физических свойств гидратосодержащих осадков.

Таким образом, **актуальность работы** определяется необходимостью развития геофизических методов поиска гидратосодержащих отложений в осадках водоемов.

Цель работы – обоснование возможности применения геотермического метода для поисков и оконтуривания поддонных скоплений газовых гидратов.

Научная задача – исследовать изменение эффективной теплопроводности гидратосодержащих образцов методом игольчатого зонда постоянной мощности и связь этого параметра с наличием в образцах гидратов метана.

Фактический материал, методы исследования, аппаратура. Фактическим материалом для решения поставленной задачи послужили результаты лабораторных экспериментов, проведенных автором в период с 2004 по 2008 годы в ходе выполнения проектов РФФИ №№05-05-64122-а, 08-05-00804-а и интеграционных проектов СО РАН №121 (2003-2005 гг.), №62 (2009-

2011 г.). Всего было проведено 32 эксперимента с гидратосодержащими средами и 8 калибровочных. В каждом из них получено в среднем 6 термограмм.

Лабораторные эксперименты проводились на специально созданной установке, расположенной в Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН. Она включает следующие функциональные узлы: камера высокого давления, измеритель температуры и теплопроводности (игольчатый зонд с измерительным блоком), термостат, манометр и компьютер.

Основным методом исследования являлся лабораторный эксперимент, в том числе моделирование образцов, имитирующих гидратосодержащие донные осадки, и измерение их теплопроводности при разных температурах и давлениях. Для измерения теплопроводности использовался хорошо обоснованный теоретически метод игольчатого зонда постоянной мощности (Von Herzen, Maxwell, 1959).

Защищаемые научные результаты:

1. Создано измерительное устройство, позволяющее в реальном времени по изменению температуры контролировать динамику образования и разложения газогидратов на протяжении всего лабораторного эксперимента и измерять эффективную теплопроводность гидратосодержащих сред при разных давлениях и температурах.

2. Выявлены геотермические признаки наличия газовых гидратов в среде, заключающиеся в аномальном изменении температуры и эффективной теплопроводности и обусловленные диссоциацией гидратов в результате их нагревания игольчатым зондом постоянной мощности.

Научная новизна работы. Личный вклад:

1. Автор участвовал в разработке и изготовлении экспериментальной установки для моделирования гидратосодержащих образцов и измерения их тепловых свойств. Им лично изготовлено измерительное устройство, состоящее из игольчатого зонда постоянной мощности и автономного измерителя, которое позволяет осуществлять непрерывный контроль температуры в камере высокого давления и измерять теплопроводность.

2. Автор участвовал в разработке методики моделирования образцов с относительно большим (до 30 масс.%) содержанием равномерно распределенного по объему гидрата путем помещения первичного образца в камеру высокого давления и создания в ней Р-Т-условий, соответствующих стабильному состоянию гидрата метана.

3. Автором лично проведены все лабораторные эксперименты, включающие моделирование гидратосодержащих образцов и измерение их теплопроводности при разных Р-Т-условиях. При этом автор впервые в мировой практике производил исследование эффективной теплопроводности гидратосодержащего образца в процессе диссоциации гидратов.

4. Автор лично выполнял анализ и интерпретацию результатов лабораторных экспериментов, включая расчет значений теплопроводности по разработанной автором процедуре на основе метода наименьших квадратов. При этом им впервые установлено резкое возрастание эффективной теплопроводности гидратосодержащих образцов в процессе диссоциации газогидратов. На основе сравнения результатов, полученных в ходе измерения температуры при разных Р-Т-условиях, сделан вывод о возможности разработки нового геотермического метода обнаружения рассеянных скоплений газогидратов в донных осадках водоемов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлялись **на международных и российских конференциях**: XLI Международная Научная Студенческая Конференция (Новосибирск, 2003); Вторая и Третья Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2004, 2006); Научная конференция с участием иностранных ученых «Трофимукские чтения-2008» (Новосибирск, 2008); Международная конференция «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения» (Тюмень, 2008); Международный молодежный научный форум «Современные проблемы и будущее геокриологии» (г. Якутск, 2008); Международный семинар по проблемам Арктики «Developing Long Term International Collaboration on Methane Hydrate Research and Monitoring in the Arctic Region» (о. Тексел, Нидерланды, 2009); Международная конференция «Перспективы освоения газогидратных месторождений» (Москва, 2009).

Публикации. Материалы диссертации полностью изложены в 18 публикациях, из них 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей Аттестационной комиссией (Доклады АН, Физика Земли), 16 публикаций в трудах и материалах научных конференций.

Практическая значимость результатов. Выполненные экспериментальные исследования существенно расширили представления о закономерностях изменения температурного поля, создаваемого в гидратосодержащей среде размещенным в ней игольчатым зондом постоянной мощности. Полученные результаты позволили выявить аномальные особенности в изменении температуры и расчетной теплопроводности при распаде газовых гидратов. Эти особенности могут быть использованы в качестве индикаторов присутствия газогидратов в донных осадках водоемов и служить основой для развития геотермического метода поисков поддонных скоплений газовых гидратов. Опыт проведения экспериментальных работ может быть использован для исследования и других тепловых свойств (температуропроводности и теплоемкости) гидратосодержащих сред.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 83 наименований. Работа содержит 1 таблицу, 27 рисунков, 18 фотографий и занимает 66 страниц машинописного текста.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. А.Д. Дучкову за большую научную и человеческую поддержку при проведении исследований и написании диссертационной работы, а также за вложенный труд и проявленное терпение при подготовке автора к научной деятельности. Автор благодарит заместителя директора ИНГГ СО РАН, д.т.н. И.Н. Ельцова за ценные рекомендации и существенный организационный вклад в процесс работы над диссертацией; заведующего лабораторией естественных геофизических полей к.г.-м.н. П.Г. Дядькова за постоянное внимание к работе автора и советы; к.т.н. С.А. Казанцева за ценные советы по диссертационной работе и помощь при разработке и изготовлении измерительной аппаратуры; к.т.н. Л.С. Соколову, к.ф.-м.н. В.Е. Истомина за внимание к научной деятельности автора на протяжении

ряда лет и полезные советы; д.х.н. А.Ю. Манакова за неоценимую помощь при подготовке аппаратуры и проведении экспериментов; к.х.н. А.Г. Огиенко за помощь при проведении длительных экспериментов. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам ИНГГ СО РАН Ю.М. Романенко, Д.Е. Аюнову, М.П. Козловой за советы и поддержку на разных этапах работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

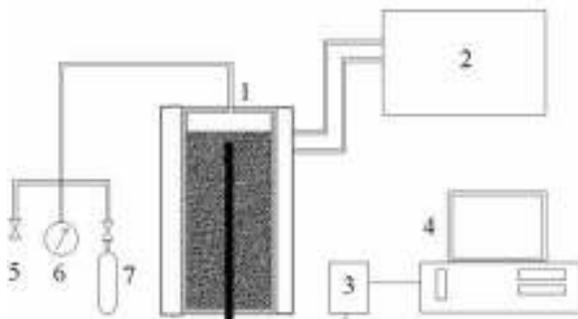
Во **введении** обоснована актуальность проводимых исследований, сформулирована цель и задачи, объект и предмет исследования, излагаются защищаемые научные результаты, а также рассматривается научная и практическая значимость полученных результатов, их новизна, апробация и структура работы.

В **Главе 1** приведены сведения о газовых гидратах в природных условиях, представлены методы и результаты исследований теплопроводности гидратов метана и гидратосодержащих осадков, опубликованные в научной литературе.

Интерес к природным газовым гидратам объясняется тем, что они, по некоторым оценкам, содержат значительные запасы метана – от $2 \cdot 10^{14}$ м³ до $\sim 1.5 \cdot 10^{16}$ м³ (Макогон, 2001; Соловьев, 2002 Kvenvolden, 1993), причем бóльшая их часть (до 98%) приходится на акватории Мирового океана и лишь незначительная (2%) – на арктические территории. Геофизические методы поисков месторождений газовых гидратов в донных осадках акваторий только начинают разрабатываться. В диссертационной работе рассмотрены поисковые возможности геотермических исследований, заключающихся в измерении *in situ* температуры (Т) и теплопроводности (λ) донных осадков. Впервые на это обратил внимание В.А. Голубев (1998). Автор провел серию лабораторных экспериментов по формированию и измерению эффективной теплопроводности гидратосодержащих образцов, в том числе и в ходе диссоциации гидратов. В результате анализа научных публикаций за последние годы автору не удалось найти сведений о проведении аналогичных экспериментов ни в России, ни за рубежом.

Глава 2 посвящена описанию установки для моделирования и измерения теплопроводности гидратосодержащих сред. Объясняется устройство камеры высокого давления и игольчатого зонда. Приводится схема работы измерителя теплопроводности.

В 2004-2005 гг. сотрудники ИНХ СО РАН и ИГФ СО РАН при непосредственном участии автора спроектировали и изготовили экспериментальную установку, схема которой показана на рисунке 1.



температуры и теплопроводности образца (игольчатый зонд и регистрирующая система), 4 – компьютер, 5 – выпускной вентиль, 6 – манометр, 7 – баллон с метаном.

Рис. 1. Установка для моделирования образцов пород, содержащих газовые гидраты, и измерения их тепло-проводности.

1 – цилиндрическая камера высокого давления в разрезе. Внутренний диаметр – 40 мм, высота – 155 мм, 2 – термостат, 3 – устройство для измерения

Камера высокого давления (рис. 2) служит для формирования гидратосодержащего образца. Рабочий объем камеры закрывается двумя obturators – сверху и снизу.

Обтюратор представляет собой сложной формы стальной болт с отверстием вдоль центральной оси, который вместе с гайкой служит для создания уплотнительного усилия при герметизации камеры. Газ в камеру подается через впаянный в верхний obturator стальной капилляр, соединенный с газовым баллоном. Нижний obturator конструктивно отличается от верхнего только тем, что в него вмонтирован игольчатый зонд,



Рис. 2. Внешний вид камеры высокого давления.

представляющий собой запаянную с одной стороны и заполненную трансформаторным маслом стальную трубку, в которую по всей длине помещен нагреватель (манганиновая проволока), а в середине расположен датчик температуры – термистор ММТ-6 (рис. 3). Зонд расположен по центральной оси рабочей камеры. Длина его составляет 120 мм, диаметр – 2 мм. С помощью зонда температура в камере измеряется с заданной частотой на всех этапах эксперимента. Для этого измеренное сопротивление термистора автоматически пересчитывается в температуру с помощью специальной программы. Игольчатый зонд в совокупности с регистрирующей системой, составляет измерительное устройство, функциональная схема которого приведена на рисунке 4. Преимущество этого измерительного устройства заключается в возможности в реальном времени (с частотой 1 раз в секунду) по изменениям температуры и давления контролировать динамику образования и разложения газогидратов на протяжении всего эксперимента.

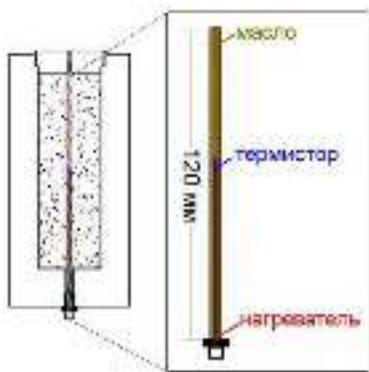


Рис. 3. Схема (в разрезе) игольчатого зонда в рабочем положении.



Рис. 4. Функциональная схема устройства для измерения температуры и теплопроводности.

В **Главе 3** описаны методики формирования в лабораторных условиях образцов, содержащих газы гидраты метана.

В качестве минеральной составляющей использовалось ~200 г кварцевого песка. Ледовый порошок тщательно перемешивался с песком до получения однородной смеси. Далее эта смесь без уплотнения загружалась в рабочую камеру, находящуюся при температуре -10°C . Затем камера закрывалась и заполнялась газом под давлением, на 2-5 МПа превышающим равновесное. После этого в камере происходило образование гидрата метана. При этом велось непрерывное наблюдение за изменением температуры и давления внутри камеры. Процесс гидратообразования фиксировался по падению давления в системе. Он считался завершенным, если в течение продолжительного времени давление оставалось стабильным. Рисунок 5 иллюстрирует изменение давления и температуры в ходе эксперимента.

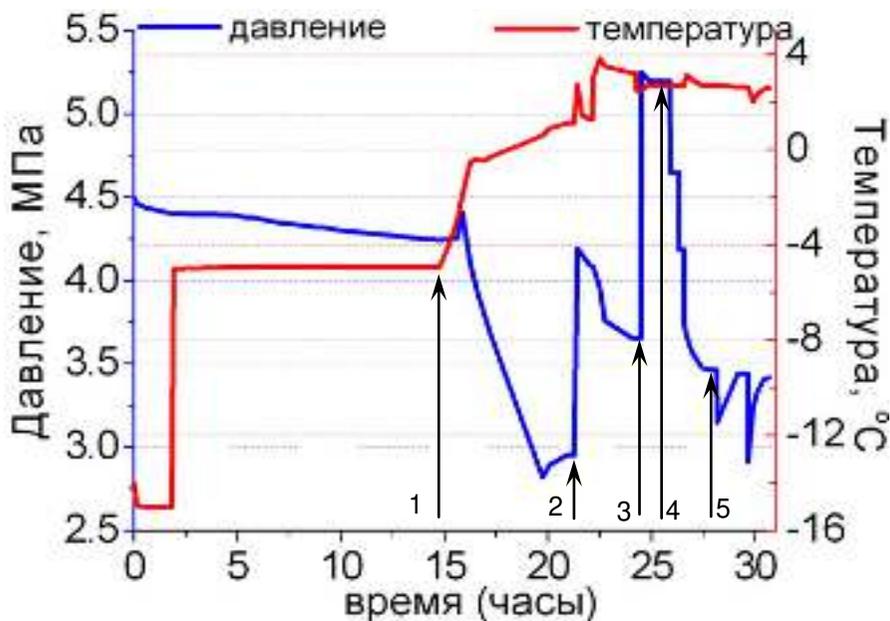


Рис. 5. Давление и температура внутри рабочей камеры на протяжении эксперимента.

«1» - температура в камере повышается для ускорения гидратообразования. При этом давление сначала растет, а затем резко падает вследствие образования гидрата.

«2», «3» - давление в камере поднимается для ускорения гидратообразования.

«4», «5» - стабилизация давления – проведение измерений теплопроводности

После завершения образования гидрата давление в камере снижалось до равновесного значения. Далее температура и давление медленно поднимались таким образом, чтобы система постоянно находилась на равновесной кривой сосуществования гидрата, газа и воды, т.е. без образования или разложения гидрата. После этого, в камере устанавливалось давление газа, выбранное для начала измерения теплопроводности. В процессе эксперимента исследуемая среда претерпевает изменения, иллюстрируемые рисунком 6. Начальная двухкомпонентная льдо-песчаная смесь по мере образования гидрата метана на поверхности частиц льда превращается в трехкомпонентную смесь песка, льда и гидрата метана. По окончании процесса плавления льда, в контейнере находится образец, состоящий из песка, равномерно распределенного по объему гидрата, воды и газообразного метана. При нагреве этой среды и разложении газогидрата вблизи зонда, остается песок и вода.

Для получения образцов с низким содержанием свободного газа, находящегося в виде изолированных включений в верхнюю часть камеры (выше смеси песка и молотого льда) вкладывался ледяной цилиндр, объем которого был равен объему порового пространства образца. После таяния ледяного цилиндра давление резко увеличивалось с тем, чтобы вдавить воду в нижележащий образец. При этом происходило бурное образование гидрата. Такая методика позволяет получить образец, содержащий газ в виде изолированных включений.

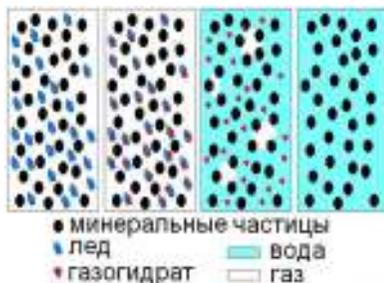


Рис. 6. Схематичное изображение компонентного состава среды на протяжении эксперимента.

В **Главе 4** представлены результаты экспериментов по измерению теплопроводности при разных Р-Т-условиях. Исследовались среды: сухой песок, влагонасыщенный песок, лед и песок, содержащий равномерно распределенный по объему гидрат метана.

Измерения температуры и теплопроводности производились по следующей методике. Регистрация изменения температуры начиналась одновременно с включением нагревателя зонда. Удельная мощность нагревателя составляла от 0.7 до 6.7 Вт/м в разных экспериментах. Продолжительность измерений составляла от ~600 до 7000 секунд. Графики изменения температуры со временем (термограммы) строились в полулогарифмическом масштабе.

На термограммах обычно выделяются три стадии нагрева образца: быстрый нелинейный рост температуры, «линейный» рост температуры (в полулогарифмическом масштабе) и следующее за ним заметное снижение темпа роста температуры вследствие влияния термостатированной стенки камеры высокого давления. При разложении в среде гидрата происходит отбор тепла, и третья стадия может отсутствовать. Значение коэффициента теплопроводности рассчитывается по прямолинейному участку термограммы с использованием соотношения (Von Herzen, Maxwell, 1959):

$$\lambda_i = \frac{Q}{4\pi} \frac{\ln(t_{i+1}/t_i)}{(T_{i+1} - T_i)} \quad (2),$$

где Q – удельная тепловая мощность источника, T_{i+1} и T_i – температуры, измеренные в моменты времени t_{i+1} и t_i соответственно. Для этого прямолинейный участок аппроксимируется прямой линией по методу наименьших квадратов. В общем случае расчетное значение коэффициента теплопроводности можно получить по любому набору экспериментальных данных, предварительно аппроксимировав его прямой линией. Однако в этом случае рассчитанное значение не может рассматриваться как истинная теплопроводность среды, а является эффективным параметром.

В ходе калибровочных экспериментов было проведено тестирование измерительной аппаратуры и верификация методики измерения. Для этого измерялась теплопроводность компонентов, используемых в дальнейшем при моделировании гидратосодержащих донных осадков, а именно: льда, сухого и водонасыщенного кварцевого песка. В результате установлено, что имеет место хорошая воспроизводимость результатов, а измеренные значения согласуются с ранее опубликованными в литературе.

Всего автором проведено 32 эксперимента (продолжительностью по 1,5-2 суток) по моделированию

гидратосодержащих осадков и измерению их теплопроводности. В каждом эксперименте производились измерения λ образцов сначала в области термодинамической стабильности гидратов, затем давление сбрасывалось, и измерялась эффективная теплопроводность в процессе разложения гидратов (рис. 5).

В первом случае обычно фиксировались термограммы типа **g06** (рис.7). На термограммах такого типа после нелинейного начального участка, устанавливалось длительное равномерное увеличение температуры.

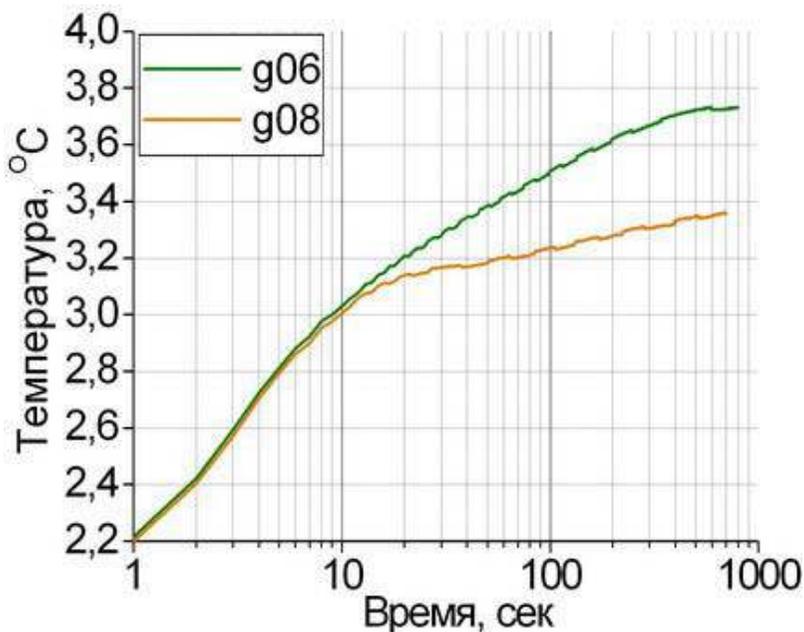


Рис. 7. Термограммы, полученные при определении теплопроводности гидратосодержащих образцов. Параметры эксперимента (P – давление; T_m – максимальная температура, достигнутая в ходе нагрева; T_r – равновесная температура для гидрата метана при данном давлении; Q_L – удельная мощность нагрева; $\lambda_{расч}$ – расчетная (эффективная) теплопроводность):

g06 – $P = 4,59$ МПа, $T_m = 3,7$ °C, $T_r = 5,8$ °C; состав (масс. %): песок – 96,2; вода – 1,6; гидрат – 2,2; $Q_L = 1,27$ Вт/м; $\lambda_{расч} = 0,7$ Вт/(м·К);

g08 – $P = 3,25$ МПа, $T_m = 3,3$ °C, $T_r = 2,2$ °C; состав (масс. %): песок – 96,2; вода – 2,2; гидрат – 1,6; $Q_L = 1,29$ Вт/м; $\lambda_{расч} = 5,74$ Вт/(м·К).

Иные результаты получены при измерении λ гидратосодержащих образцов при Р-Т-условиях, выходящих за границы области стабильности гидрата метана (термограмма **g08** на рис. 7). Термограммы в этих экспериментах приобретают аномальные особенности. При превышении равновесной температуры на $0,8-1^{\circ}\text{C}$ (через 20-30 секунд после включения нагревателя) происходит заметное снижение темпа роста T , что как будто указывает на кажущееся внезапное увеличение теплопроводности среды в камере. Расчет λ по этим графикам приводит к аномально высоким значениям. Так, при $P = 3,25$ МПа (рис. 7, **g08**) $\lambda_{\text{расч.}}$ достигает 4-5 Вт/(м·К).

По мнению автора, причиной аномальных изменений термограмм и расчетной теплопроводности является диссоциация части гидратов вблизи игольчатого зонда под действием тепла, выделяемого нагревателем. При распаде гидрата происходит поглощение тепла (54.19 кДж/моль гидрата метана) и выделение газа с низкой теплопроводностью. Эти процессы противоположно влияют на темп роста температуры зонда: первый вызывает его замедление, а второй – наоборот увеличение. Судя по экспериментальным термограммам, в рассматриваемом случае преобладает именно процесс поглощения тепла, приводящий в итоге к наблюдаемому замедлению роста температуры и, соответственно, к увеличению расчетных значений теплопроводности. Газ, выделяющийся в процессе распада гидратов, по-видимому, мигрирует во внешний объем образца вдоль зонда и по связанным между собой заполненным газом порам и не оказывает заметное влияние на температурное поле зонда. Такой вывод сделан в результате анализа термограмм, полученных в ходе измерения теплопроводности гидратосодержащего образца, в котором поры полностью заполнены водой, и свободный дренаж выделяющегося газа отсутствует. В этом случае эффект накопления газа вблизи игольчатого зонда может быть весьма значительным и способен существенно изменить как вид получаемой термограммы, так и величину $\lambda_{\text{расч.}}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований при непосредственном участии автора спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая моделировать образцы донных осадков, содержащие гидраты метана. Установка включает в себя камеру высокого давления, измеритель теплопроводности, термостат, манометр и компьютер. Конструкция установки позволяет формировать гидратосодержащие образцы непосредственно в камере высокого давления и производить в ходе всего эксперимента практически непрерывную регистрацию температуры посредством изготовленного автором игольчатого зонда.

На установке выполнена серия экспериментов по моделированию и измерению теплопроводности гидратсодержащих синтетических образцов. Впервые проведены измерения теплопроводности образцов, в которых в результате нагревания происходит разложение газогидратов. Исследования показали, что метод игольчатого зонда постоянной мощности, широко применяемый в геотермических исследованиях для измерения теплопроводности, может давать корректные результаты, когда температурное поле измеряемой среды не нарушается дополнительными источниками или стоками тепла. В то же время фиксирование аномальных значений теплопроводности фактически позволяет выявить наличие процессов поглощения тепла в изучаемых образцах. Полевые наблюдения (Кутас и др., 2005) подтверждают выводы о возможности использования аномальных термограмм в качестве индикаторов присутствия газовых гидратов в осадках.

Проведенными исследованиями установлено, что нагревание гидратосодержащего вещества приводит к фиксируемым тепловым сигналам, параметры которых определяются концентрацией гидратов, мощностью нагревающего устройства и P-T условиями в месте его установки. Выявленные особенности термограмм и аномальный рост расчетных значений теплопроводности являются несомненными признаками (индикаторами) наличия заметного количества гидратов в осадках.

Продолжение исследований в этом направлении позволит развить технологию геотермического метода поисков и картирования поддонных скоплений газовых гидратов. Необходимо в первую

очередь разработать методику количественных оценок содержания гидратов метана в осадке по измерениям теплопроводности в лабораторных условиях и *in situ*.

На сегодняшний день можно предложить следующую схему поисков поддонных скоплений гидратов метана при помощи геотермического метода.

1. Организация морской (озерной) экспедиции.
2. Измерение теплопроводности осадков *in-situ* с источниками разной мощности.
3. Выявление в термограммах аномальных особенностей (снижение T , $\rho_{\text{от}}$), которые указывают на наличие в осадках гидратов метана.
4. Оконтуривание участка дна, в осадках которого по геотермическим данным может содержаться гидрат метана.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Пермяков М.Е.** К вопросу об измерении теплопроводности гидрата метана в лабораторных условиях // Материалы XLI МНСК : Геология. – Новосибирск : НГУ, 2003. – С. 9–10.
2. **Пермяков М.Е.** Анализ температурных аномалий, полученных при измерении теплопроводности донных осадков оз. Байкал // Материалы XLII МНСК : Геология. – Новосибирск : НГУ, 2004. – С. 180.
3. **Пермяков М.Е.** Первые эксперименты по измерению теплопроводности гидратсодержащих пород // Тезисы докладов II Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск : НГУ, 2004. – С. 138–139.
4. Дучков А.Д., Манаков А.Ю., Казанцев С.А., **Пермяков М.Е.** Экспериментальное моделирование и измерение теплопроводности пород, содержащих газовые гидраты, при различных Р-Т-условиях // Четвертая Верещагинская байкальская конференция: Тезисы докладов и стендовых сообщений (Иркутск, 26 сентября – 1 октября, 2005 г.). – Иркутск : Изд-во Института географии им. Б.В. Сочавы СО РАН, 2005. – С. 73–74.
5. **Пермяков М.Е.** Установка для измерения теплопроводности гидратсодержащих пород // Материалы XLIII МНСК : Геология. – Н-ск : НГУ, 2005. – С. 61–62.
6. **Пермяков М.Е.** Моделирование гидратсодержащих пород и измерение их теплопроводности // Материалы XLIV МНСК : Геология. – Н-ск : НГУ, 2006-а. – С. 59.

7. Дучков А.Д., Манаков А.Ю., Казанцев С.А., **Пермяков М.Е.**, Огиенко А.Г. Экспериментальное моделирование и измерение теплопроводности сред, содержащих газы гидраты метана // ДАН. – 2006. – Т. 408. – №5. – С. 656–659.
8. Duchkov A.D., Manakov A .Yu., K azantsev S .A., **Permyakov M.E.**, Ogienko A.G. The modeling of the samples of the hydrate containing rocks, using the quartz s and a nd t he m easurements of t heir thermal c onductivity // Mi nerals of t he Ocean-3 future developments/ International conference. Abstracts. 19-23 June, 2006. Vniiokeangeologia. St.-Petersburg, Russia. – P. 40–42.
9. **Пермяков М.Е.** Измерение теплопроводности гидратсодержащих образцов из кварцевого песка в лабораторных условиях // Тезисы докладов Третьей Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск : ОИГМ СО РАН, 2006-б. – С. 183–184.
10. **Пермяков М.Е.** Измерение теплофизических свойств лабораторных образцов, имитирующих гидратсодержащие осадочные породы // «Трофимуковские чтения-2007»: Труды науч. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов. – Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т., 2007. – С. 266–269.
11. Duchkov A.D., Manakov A .Yu., K azantsev S .A., **Permyakov M.E.**, Ogienko A.G. Results of modeling of hydrate c ontaining rocks a nd s tudies o f t heir thermal c onductivity // International c onference on gas hydrate s tudies: Abs tracts (Listvyanka, 3 -8 S eptember, 2007/ T .I. Z emskaya (Ed.) Irkutsk : V .B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2007. – 71 p.
12. Дучков А.Д., С.А. Казанцев, **М.Е. Пермяков**, Истомина В.А., В.Г. Квон, А.Ю. Манаков, А.Г. Огиенко. Экспериментальное моделирование и измерение теплофизических свойств донных отложений водоемов, содержащих газы гидраты, при разных P-T-условиях // Мировые ресурсы и запасы газа и перспективные технологии их освоения (WGRR-2007) : Тезисы докладов I Международной научно-практической конференции 26–27 ноября 2007 г. – М. : ВНИИГАЗ, 2007. – С. 158–159.
13. **Пермяков М.Е.**, Дучков А.Д., Манаков А.Ю., Казанцев С.А. Измерение теплофизических свойств гидратонасыщенных сред // Международная конференция «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». 21–24 апреля 2008 г., г. Тюмень. – Тюмень : ИКЗ СО РАН, 2008. – С. 414–417.
14. Дучков А.Д., Манаков А.Ю., Казанцев С.А., **Пермяков М.Е.** Моделирование образцов, содержащих гидраты метана, и измерение их тепловых свойств // Тепловое поле земли и методы его изучения. Сборник научных трудов. Отв. Ред. Ю.А. Попов. – М. : РГГРУ, 2008. – С. 87–92.
15. **Пермяков М.Е.**, Аюнов Д.Е. Измерение тепло- и температуропроводности сред, имитирующих гидратоносные донные осадки // Современные проблемы и будущее геокриологии: Материалы Международной

молодежной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.И. Мельникова, (5-8 августа 2008 г., г. Якутск, Россия) / Российская акад. наук, Сибирское отделение, Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова; отв. Ред. М.Н. Железняк, О.И. Алексеева. – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2008. – С. 42–44.

16. **Пермяков М.Е.** К вопросу об измерении тепловых коэффициентов газогидратсодержащих пород // «Трофимуковские чтения-2008». Труды всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. – Новосибирск, 2008. – Т.2. – С. 249-251.

17. Дучков А.Д., Мананов А.Ю., Казанцев С.А., **Пермяков М.Е.**, Огиенко А.Г. Измерение теплопроводности синтетических образцов донных осадков, содержащих гидраты метана // Физика Земли, 2009. – №8. – С. 42–50.

18. **Пермяков М.Е.**, Дучков А.Д., Казанцев С.А., Мананов А.Ю. Геотермический метод поисков поддонных скоплений гидратов метана: результаты лабораторных исследований // Программа и тезисы докладов Международной конференции «Перспективы освоения ресурсов газогидратных месторождений». Москва, РГУ Нефти и Газа им. И.М. Губкина, 17.11.2009-18.11.2009. – С. 54–55.

Технический редактор Т.Л.Халина

Подписано в печать 11.03.2010

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ. л. 0,9. Тираж 120. Зак. № 39

ИНГГ СО РАН, ОИТ, пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090