

Сибирское отделение Российской академии наук
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Лимнологический институт СО РАН

Российская конференция
ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ
В ЭКОСИСТЕМЕ ЗЕМЛИ' 2014

7–10 апреля, 2014

Программа конференции и тезисы докладов

Новосибирск, 2014

УДК 541.1 552.578.1 548.562:541.123.22
662.324+656.065.6 548.562:547.912:665.612 550.40:553.061.2
ББК Г51. Г 542 Д454.2-0

Программа и тезисы докладов конференции «Газовые гидраты в экосистеме Земли' 2014» / Ответственный за выпуск к.х.н. Т.В. Родионова. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2014. 104 с.

ISBN 978-5-901688-31-1

В настоящем сборнике представлены тезисы пленарных и стендовых докладов участников российской конференции «Газовые гидраты в экосистеме Земли' 2014», состоявшейся в апреле 2014 г. в ИНХ СО РАН, Новосибирск, в которых отражены следующие актуальные проблемы газовых гидратов (ГГ): физико-химические аспекты образования (разложения) и строения газовых гидратов, геология и геофизика скоплений природных газовых гидратов, технологические и экологические проблемы газогидратообразования.

Первая и вторая конференции «Газовые гидраты в экосистеме Земли» состоялись в 1997 и в 2003 гг. также в ИНХ СО РАН. Данные совещания способствовали развитию связей между занимающимися изучением газовых гидратов группами российскими учеными и стимулировали междисциплинарные исследования различных аспектов указанной проблемы в рамках ряда Интеграционных проектов СО РАН. Конференция «Газовые гидраты в экосистеме Земли' 2014», которая проводится в преддверии мирового газогидратного симпозиума в Китае в июле 2014 г., предполагает обмен мнениями и конкретными результатами, которые позволят сопоставить уровень проводимых исследований в России и в других странах. На круглом столе планируется обсудить результаты пилотной добычи газа из ГГ в разных странах и наметить пути дальнейших исследований ГГ в России.

© Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт неорганической химии
им. А.В. Николаева СО РАН, 2013

Огромный интерес исследователей всего мира к газогидратной тематике вызван, прежде всего, существованием гидратов метана в природе в количествах, сопоставимых, как минимум, с разведанными ресурсами традиционного газа, их высокой энергоемкостью и глобальной экологической значимостью. Исследованиями газовых гидратов занимаются ученые в самых разных областях науки: физической химии, геологии, геофизики, биологии, экологии и др., а также специалисты, работающие в газовой промышленности. Конференция призвана показать современное состояние исследований газовых гидратов в нашей стране и должна содействовать планированию исследований на ближайшую и дальнюю перспективы. Российская конференции **«Газовые гидраты в экосистеме Земли' 2014»**, проводится в преддверии мирового газогидратного симпозиума, который состоится в июле 2014 г. в Китае. Предполагаемый обмен мнениями и конкретными результатами позволят сопоставить уровень проводимых исследований в России и в других странах. На круглом столе планируется обсудить результаты пилотной добычи газа из ГГ в разных странах и наметить пути дальнейших исследований ГГ в России.

Организационный комитет

КУЗНЕЦОВ Ф.А., академик (ИНХ СО РАН) – почетный председатель

ГРАЧЕВ М.А., академик (ЛИН СО РАН)

ФОМИН В.М., академик (ИТПМ СО РАН)

НАКОРЯКОВ В.Е., академик (ИТ СО РАН)

БЕЛОСЛУДОВ В.Р., д.ф.-м.н.(ИНХ СО РАН)

ДУЧКОВ А.Д., д.г.-м.н. (ИНГГ СО РАН)

ЗЕМСКАЯ Т.И., д.б.н. (ЛИН СО РАН)

ИСТОМИН В.А., д.х.н. («Газпром ВНИИГАЗ»)

МАНАКОВ А.Ю., д.х.н. (ИНХ СО РАН)

РОДИОНОВА Т.В., к.х.н. (ИНХ СО РАН)

ХЛЫСТОВ О.М. (ЛИН СО РАН)

**НАУЧНАЯ ПРОГРАММА
КОНФЕРЕНЦИИ**

7 апреля, понедельник

10⁰⁰-14⁰⁰ **Встреча участников, регистрация**

14⁰⁰-14¹⁵ **ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ**

14¹⁵-14³⁰ ГАЗОГИДРАТНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ В СО РАН
Манаков А.Ю.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ

14³⁰-15⁰⁰ ТЕРМОДИНАМИКА ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ
В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН
Истомин В.А., Федулов Д.М.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

15⁰⁰-15³⁰ НЕКОТОРЫЕ ИДЕИ ПО РАЗВИТИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОГИДРАТОВ
Якушев В.С.
Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина

15³⁰-16⁰⁰ ИНДУКЦИОННЫЕ ВРЕМЕНА ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ
В ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЯХ МИКРО- И НАНОПОРОШКОВ SiO₂, Al₂O₃,
ZnO, MgO, TiO₂ И ЭМУЛЬСИЯХ ВОДЫ В СЫРЫХ НЕФТЯХ
Манаков А.Ю.¹, Стопорев А.С.¹, Решетников А.М.², Нестеров А.Н.²,
Алтунина Л.К.³, Богословский А.В.³, Стрелец Л.А.³
¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
² Институт криосферы Земли СО РАН
³ Институт химии нефти СО РАН

16⁰⁰-16²⁰ **кофе, чай**

16²⁰-16⁵⁰ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА И ИЗУЧЕНИЯ БАЙКАЛЬСКИХ
ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ
Хлыстов О.М.
Лимнологический институт СО РАН

16⁵⁰-17²⁰ НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ УГЛЕВОДОРОДОВ
И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ДОБЫЧИ
Обжиров А.И.
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева

17²⁰-17⁵⁰ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СООБЩЕСТВА ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЫ
ОЗЕРА БАЙКАЛ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ
В ЗОНАХ ПОСТУПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ.
Земская Т.И., Ситникова Т.Я.
Лимнологический институт СО РАН

18⁰⁰-19³⁰ **СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ**

8 апреля, вторник

**ФИЗИКОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ**

- 10⁰⁰-10³⁰ МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ: УСТОЙЧИВОСТЬ И МЕХАНИЗМЫ РАСПАДА
Власов В.А., Драчук А.О., Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Молокитина Н.С., Нестеров А.Н., Поденко Л.С., Решетников А.Г.
Институт криосферы Земли СО РАН
- 10³⁰-10⁵⁰ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ, МОДЕЛИРУЮЩЕЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Булейко В.М., Истомин В.А., Григорьев Е.Б.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- 10⁵⁰-11¹⁰ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДА–УГЛЕВОДОРОДЫ В ОБЛАСТИ СТАБИЛЬНОСТИ ГИДРАТОВ
Булейко В.М., Истомин В.А., Григорьев Б.А.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- 11¹⁰-11³⁰ НОВЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ
Цой А.Н., Накоряков В.Е., Мезенцев И.В., Мелешкин А.В.
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
- 11³⁰-11⁵⁰ **кофе, чай**
- 11⁵⁰-12¹⁰ ОСОБЕННОСТИ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ТЕПЛОВИМ ВОЗДЕЙСТВИИ
Накоряков В.Е., Елистратов С.Л., Мисюра С.Я.
Институт теплофизики СО РАН
- 12¹⁰-12³⁰ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НИЗШИХ АЛКАНОВ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА
Калачева Л.П.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
- 12³⁰-12⁴⁵ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГИДРАТОВ МЕТАН-ПРОПАНОВОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА РАВНОВЕСНЫЕ УСЛОВИЯ ИХ РАЗЛОЖЕНИЯ
Семенов А.П., Якушев В.С., Михайлов С.Б., Винокуров В.А.
Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина
- 12⁴⁵-13⁰⁰ САМОКОНСЕРВАЦИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В НЕФТЯНЫХ СУСПЕНЗИЯХ
Стопорев А.С.¹, Манаков А.Ю.¹, Алтунина Л.К.²,
Богословский А.В.², Полюхов Д.М.^{1,3}
¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
² Институт химии нефти СО РАН,
³ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

- 13⁰⁰-13¹⁵ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕТРАГИДРОФУРАН (ТГФ)–ТРЕТ-БУТИЛОВЫЙ СПИРТ (ТБС)–ВОДА
Богданова Е.Г., Огиенко А.Г., Аладко Е.Я., Аладко Л.С., Колесов Б.А., Манаков А.Ю.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
- 13¹⁵-13³⁰ ДВОЙНОЙ ГИДРАТ ИЗОПРОПАНОЛА И МЕТАНА
Сизиков А.А., Манаков А.Ю.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
- 13³⁰-15⁰⁰ **обед**
- 15⁰⁰-15²⁰ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТ САМОСОХРАНЕНИЯ ГИДРАТОВ ВОДОРОДА
Белослудов В.Р.¹, Субботин О.С.¹, Белослудов Р.В.², Кавазое Е.^{3,4}
¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
² Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan
³ New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Sendai, Japan
⁴ Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
- 15²⁰-15⁴⁰ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ДВОЙНЫХ ГИДРАТОВ N₂–CO₂
Субботин О. С.¹, Жданов Р. К.¹, Адамова Т. П.¹, Белослудов В. Р.¹, Белослудов Р. В.², Кавазое Й.³
¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
² Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan
³ New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Sendai, Japan
- 15⁴⁰-16⁰⁰ НАКОПЛЕНИЕ ГАЗОГИДРАТНОЙ ПЕНЫ ВНУТРИ КУПОЛА ПОД ВОДОЙ
Гималтдинов И.К., Кильдибаева С.Р., Хасанов М.К., Столповский М.В.
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
- 16⁰⁰-16²⁰ ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ
Мусакаев Н.Г.¹, Уразов Р.Р.²
¹ Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН
² Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета
- 16²⁰-16⁵⁰ **кофе, чай**
- 16⁵⁰-17¹⁰ САМОСБОРКА ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ
Игошин Д.Е., Амелькин С.В.
Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики СО РАН
- 17¹⁰-17³⁰ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР КЛАТРАТНЫХ ГИДРАТОВ
Комаров В.Ю.^{1,2}, Грачев Е.В.¹, Подоксенов А.В.^{1,2}
¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
- 17³⁰-17⁵⁰ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТОВ МЕТАНА В ПОРАХ ПРИРОДНОГО УГЛЯ
Смирнов В.Г.^{1,3}, Манаков А.Ю.², Дырдин В.В.¹, Исмагилов З.Р.^{1,3}, Лырщиков С.Ю.
¹ Кузбасский Государственный Технический Университет им. Т.Ф. Горбачева
² Институт неорганической химии СО РАН
³ Институт Углекислотной и химического материаловедения КемНЦ СО РАН
- 18⁰⁰-20⁰⁰ **неформальное общение**

9 апреля, среда

ПРИРОДНЫЕ ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ

- 10⁰⁰-10²⁰ ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРАТОНОСНОСТИ
ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ РОССИИ
Перлова Е.В., Леонов С.А.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- 10²⁰-10⁴⁰ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИДРАТОСОДЕРЖАНИЯ В ДОННЫХ
ОСАДКАХ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ)
Дучков А.А., Дучков А.Д., Фадеева И.И.
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
- 10⁴⁰-11⁰⁰ ПОВЫШЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОРОВЫХ ВОД,
ГРАНИЧАЩИХ С ГИДРАТАМИ ОСАДКОВ –
СВИДЕТЕЛЬСТВО СОВРЕМЕННОСТИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ?
Погодаева Т.В., Земская Т.И.
Лимнологический институт СО РАН
- 11⁰⁰-11¹⁵ РЕЛИКТОВЫЕ ГАЗОГИДРАТЫ КАК ОСЛОЖНЯЮЩИЙ ФАКТОР
ОСВОЕНИЯ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ФОНЕ ЕСТЕСТВЕННОГО
ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ
Микляева Е.С., Перлова Е.В., Леонов С.А.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- 11¹⁵-11⁴⁵ кофе, чай
- 11⁴⁵-12⁰⁵ МИКРОБНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА
В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЙКАЛ
Пименов Н.В.¹, Калмычков Г.В.², Земская Т.И.³
¹Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН
²Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
³Лимнологический Институт СО РАН
- 12⁰⁵-12²⁵ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАНА ГИДРАТОНОСНЫХ
СТРУКТУР (СИПЫ, ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ) ОЗЕРА БАЙКАЛ
Калмычков Г.В.¹, Хачикубо А.², Егоров А.В.³, Хлыстов О.М.⁴
¹Институт геохимии СО РАН
²Технологический институт г. Китами
³Институт океанологии РАН
⁴Лимнологический институт СО РАН
- 12²⁵-12⁴⁵ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБРАЗОВАНИЕМ И РАЗЛОЖЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ГИД-
РАТОВ С БОРТА ГЛУБОКОВОДНОГО ОБИТАЕМОГО АППАРАТА «МИР»
Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н.
Институт океанологии РАН
- 12⁴⁵-13⁰⁵ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ И РАЗЛОЖЕНИИ
ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ
Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н.
Институт океанологии РАН
- 13⁰⁵-15⁰⁰ **обед**

- 15⁰⁰-15²⁰ ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ:
ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА
Гранин Н. Г.¹, Верещагина О.Ф.², Козлов В.В.³, Обжиров А.И.², Макаров М. М.¹,
Гнатовский Р. Ю.¹, Иванов В.Г.¹, Блинов В.В.¹, Мизандронцев И.Б.¹
¹Лимнологический Институт СО РАН
²Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
³Институт динамики систем и теории управления СО РАН
- 15²⁰-15³⁵ ОЦЕНКА ПУЗЫРЬКОВОГО ПОТОКА МЕТАНА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ
АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
Муякшин С.И.², Макаров М.М.¹, Гнатовский Р.Ю.¹, Гранин Н.Г.¹, Кучер К.М.¹
¹Лимнологический Институт СО РАН
²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
- 15³⁵-15⁵⁰ ИЗВЕРЖЕНИЯ И НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ПУЗЫРЬКОВЫХ ВЫХОДОВ ГАЗА
НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ.
Макаров М.М.¹, Муякшин С.И.², Кучер К.М.¹, Гнатовский Р.Ю.¹, Гранин Н.Г.¹
¹Лимнологический Институт СО РАН
²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
- 15⁵⁰-16¹⁰ ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)
Кириллова Г.Л.¹, Обжиров А.И.², Гресов А.П.¹
¹Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН
²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
- 16¹⁰-16⁴⁰ **кофе, чай**
- 16⁴⁰-18⁰⁰ **Круглый стол «Перспективы исследования газовых гидратов в России:
направления и организационные формы»**

10 апреля, четверг

Завершение работы конференции, выдача документов, отъезд участников

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

1. ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ *изо*-(н-) ПРОПАНОЛ–ВОДА
Аладко Л.С., Манаков А.Ю., Огиенко А.Г.
Институт неорганической химии СО РАН
2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗОНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТНЫХ СКОПЛЕНИЙ
В РАЙОНЕ ВАШУТИНСКО-ТАЛОТИНСКОГО НАДВИГА
ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ
Вахнин М.Г.
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ГИДРАТОВ
ВОДОРОДА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ДАВЛЕНИЙ
^{1,2}Жданов Р.К., ^{1,2}Белослудов В.Р., ^{1,2}Субботин О.С.
¹ Институт неорганической химии СО РАН
² Институт теплофизики СО РАН
4. КОНСЕРВАЦИЯ ГИДРАТА ФРЕОНА-12 МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЛЬДОМ
Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Нестеров А.Н., Решетников А.М.
Институт криосферы Земли СО РАН
5. РАСТВОРИМОСТЬ ГЕЛИЯ ВО ЛЬДУ Ih ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 2000 БАР
Ильдяков А.В., Манаков А.Ю., Аладко Е.Я., Косяков В.И., Шестаков В.А.
Институт неорганической химии СО РАН
6. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГИДРАТА КАК ФАКТОР,
ВЛИЯЮЩИЙ НА НАПРАВЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ
Калачева Л.П., Федорова А.Ф.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
7. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУПОЛА-СЕПАРАТОРА,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СБОРА НЕФТЕПРОДУКТОВ В ШЕЛЬФЕ
Кильдибаева С.Р.
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета.
8. ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГИДРАТА ПРИРОДНОГО ГАЗА
ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ С СИЛИКАТНЫМИ МИНЕРАЛАМИ
Корякина В.В., Калачева Л.П.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
9. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВЫХОДЫ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОГИДРАТЫ
НА ДНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ
Круглякова Р.П., Шевцова Н.Т.
ГНЦ ФГУГП «Южморгеология»
10. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА
В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ
Ломакина А.В., Погодаева Т.В., Мамаева Е.В., Земская Т.И.
Лимнологический институт СО РАН
12. СТРУКТУРЫ ГИДРАТОВ КЛАСТЕРОВ $[\{Mo_6I_8\}(H_2O)_2(OH)_4]$
^{1,2}Лубнин И.М., ²Михайлов М.А., ²Абрамов П.А., ^{1,2}Соколов М.Н., ^{1,2}Комаров В.Ю.
¹ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
² Институт неорганической химии СО РАН

13. **БИОГЕННЫЕ ГАЗОГИДРАТЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ОЗЕРАХ БАЙКАЛ И ТЕЛЕЦКОЕ**
Лужецкий В.Г.
ИВМиМГ СО РАН
14. **ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТА ПРОПАНА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗЦА**
Мадыгулов М.Ш.^{1,2}, Заводовский А.Г.¹, Щипанов В.П.²
¹Институт Криосферы Земли СО РАН
²Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет
15. **ПРОЯВЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ДИССОЦИАЦИИ ФРЕОНОГИДРАТА-12**
^{1,2}Мадыгулов М.Ш., ¹Заводовский А.Г., ²Щипанов В.П.
¹Институт Криосферы Земли СО РАН
²Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет
16. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КВАДРУПОЛЬНОЙ ТОЧКИ ГИДРАТА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПЕРЕСЕЧЕНИЕМ РАВНОВЕСНОЙ ЛИНИИ И ЛИНИИ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА**
Нестеров А.Н., Решетников А.М.
Институт криосферы Земли СО РАН
17. **КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**
Нефёдов П.А., Джеджерова А.А., Долгаев С.И.,
Истомин В.А., Квон В.Г., Герасимов Ю.А.
ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
18. **ОБРАЗОВАНИЕ МЕТАНА И ЭТАНА МИКРОБНЫМ СООБЩЕСТВОМ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЙКАЛ**
¹Павлова О.Н., ¹Букин С.В., ²Калмычков Г.В., ¹Иванов В.Г.,
¹Хабуев А.В., ¹Погодаева Т.В., ¹Земская Т.И.
¹Лимнологический институт СО РАН
²Институт геохимии им А.П. Виноградова СО РАН
19. **ТЕРМОТОЛЕРАНТНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗ. БАЙКАЛ, ПРИУРОЧЕННЫХ К ЗОНАМ РАЗЛОМОВ**
¹Павлова О.Н., ¹Букин С.В., ²Манаков А.Ю., ³Москвин В.И.,
¹Ломакина А.В., ⁴Морозов И.В., ¹Земская Т.И.
¹Лимнологический институт СО РАН
²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
³Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
⁴Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН
20. **ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГИДРАТСОДЕРЖАЩИХ ОБРАЗЦОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**
¹Пермяков М.Е., ¹Дучков А.Д., ²Манаков А.Ю.
¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
²Институт неорганической химии СО РАН
21. **МЕХАНИЗМЫ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ "СУХОЙ ВОДЫ", ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**
¹Поденко Л.С., ^{1,2}Нестеров А.Н., ¹Драчук А.О., ¹Молокитина Н.С., ¹Решетников А.М.
¹Институт криосферы Земли СО РАН
²Тюменский государственный нефтегазовый университет
22. **СИНТЕЗ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВМЕЩАЮЩЕЙ ПОРОДЫ**
Портнягин А. С.

Институт проблем нефти и газа СО РАН

23. КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНТАЛЬПИЙ ПЛАВЛЕНИЯ ИОННЫХ КЛАТРАТНЫХ ГИДРАТОВ ГАЛОГЕНИДОВ ТЕТРАБУТИЛАММОНИЯ
Родионова Т.В., Виллевальд Г.В., Карпова Т.Д.
Институт неорганической химии СО РАН
24. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ ГАЗОГИДРАТНЫХ ПУЗЫРЬКОВ В УСЛОВИЯХ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ
Русинов А.А., Чиглинцева А.С., Сайниев В.Ф., Шепелькевич О.А.
Бирский филиал Башкирского государственного университета
25. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
Семенов М.Е., Шиц Е.Ю., Калачева Л.П.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
26. ГРУППОВОЙ СОСТАВ АДСОРБЦИОННОГО СЛОЯ НЕФТИ НА ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛЬНОГО ГИДРАТА
¹Стрелец Л.А., ²Манаков А.Ю., ¹Богословский А.В., ¹Алтунина Л.К.
¹ Институт химии нефти СО РАН, Томск,
² Институт неорганической химии СО РАН
27. ПРОДУВКА ПОРИСТОГО ПЛАСТА ГАЗОМ, СОПРОВОЖДАЮЩАЯСЯ ОБРАЗОВАНИЕМ ГАЗОГИДРАТА
¹Хасанов М.К., ¹Кильдибаева С.Р., ²Столповский М.В.
¹ Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
² Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета в г. Стерлитамаке

ТЕЗИСЫ УСТНЫХ ДОКЛАДОВ

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТ САМОСОХРАНЕНИЯ ГИДРАТОВ ВОДОРОДА

¹Белослудов В.Р., ¹Субботин О.С., ²Белослудов Р.В., ^{3,4}Кавазое Е.

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan*

³*New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Japan*

⁴*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия*

bel@niic.nsc.ru

В рамках молекулярных моделей гидратов водорода и двойных $H_2 + CH_4$ и $H_2 + C_3H_8$ гидратов кубической структуры II, погруженных в лед, с возможностью многократного заполнения полостей молекулами водорода, построены уравнения состояния в областях неустойчивости рассматриваемых гидратов. Эти уравнение используется для нахождения давления в гидратах водорода с целью выявления природы эффекта самосохранения. Показано, что возникает избыточное давление внутри фаз гидрата по сравнению с давлением во льду, окружающим гидрат, с ростом температуры. Это избыточное давление возникает из-за того, что тепловое расширения гидратов водорода больше, чем тепловое расширение льда и оно достаточно для перевода метастабильной фазы гидрата, возникающей при повышении температуры, в стабильную. Было показано, что эффект самосохранения существует в гидрате водорода при давлениях, превышающих 100 атм и в двойных $H_2 + CH_4$ и $H_2 + C_3H_8$ гидратах при атмосферном давлении.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕТРАГИДРОФУРАН (ТГФ)—*трет*-БУТИЛОВЫЙ СПИРТ (ТБС)—ВОДА

Богданова Е.Г., Огиенко А.Г., Аладко Е.Я., Аладко Л.С., Колесов Б.А., Манаков А.Ю.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
katerinazevak@gmail.com

Трет-бутиловый спирт (ТБС) не образует клатратных гидратов из-за достаточно больших размеров молекулы, но известен случай образования двойного гидрата кубической структуры (КС) - II: $8\text{ТБС}\cdot 16\text{СН}_4\cdot 136\text{Н}_2\text{О}$, где метан выступает в качестве вспомогательного компонента для стабилизации клатратного каркаса путем заполнения малых полостей [1]. Клатратный гидрат, образующийся в системе ТГФ-вода, обладает наибольшей термической устойчивостью вследствие наилучшей комплементарности размеров молекулы ТГФ большой полости каркаса кубической структуры-II. Поэтому есть все основания предполагать, что добавление некоторых количеств ТГФ до требуемой стехиометрии (ТГФ+низкоатомный спирт) $\cdot 17\text{Н}_2\text{О}$ позволит получать двойные клатратные гидраты.

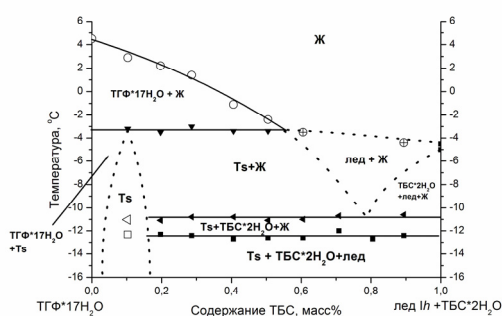


Рис.1. Политермическое сечение фазовой диаграммы ТГФ–ТБС–вода, содержание воды 80 масс. %. 1 атм. T_s - твердый раствор. Значками обозначены эндоэффекты.

Методами РФА и КР-спектроскопии впервые обнаружено образование фазы двойного клатратного гидрата в тройной системе ТГФ–ТБС–вода. Было проведено моделирование строения политермического сечения тройной фазовой диаграммы в области клатратообразования. Для определения температур фазовых переходов и построения политермического сечения использовали метод дифференциально-термического анализа (ДТА). На основании полученных дан-

ных и проведенного моделирования было предложено строение политермического сечения фазовой диаграммы с содержанием воды 80 масс. % (Рис.1). В системе происходит образование твердого раствора на базе клатратного гидрата ТГФ кубической структуры II плавящегося инконгруентно.

Работа была выполнена при поддержке стипендии президента РФ СП-680.2013.4

1. Y. Park, M. Cha, W. Shin, Jong-Ho Cha, H. Lee, J. Ripmeester “Thermodynamic and spectroscopic analysis of tertbutyl alcohol hydrate: application for the methane gas storage and transportation”/ICGH 2008, Vancouver, CANADA, July 6-10, 2008.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДА–УГЛЕВОДОРОДЫ В ОБЛАСТИ СТАБИЛЬНОСТИ ГИДРАТОВ

Булейко В.М., Истомин В.А., Григорьев Б.А.
ООО "Газпром ВНИИГАЗ", 142717, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия
vlistomin@yandex.ru

С использованием метода прецизионной адиабатической калориметрии изучены термодинамика и кинетика процессов образования и разложения гидратов индивидуальных углеводородов алканового ряда (метана, этана и пропана) в температурном диапазоне 200–300 К при давлениях до 15–20 МПа. В калориметрической ячейке в качестве модели пористой среды находится песок. При этом характерный размер частиц гранулированного песка, его удельная поверхность, а также количество воды таковы, что практически нет влияния пористой среды на термодинамику (на фазовые равновесия). По полученным экспериментальным данным построены линии трехфазного равновесия "вода (лёд)–гидрат–углеводород (газообразный и жидкий)". Для систем с этаном и пропаном проведено сравнение с литературными данными и уточнены значения верхних квадрупольных точек. Результаты экспериментальных исследований при термобарических условиях, соответствующих жидкому состоянию углеводородных гидратообразующих компонентов (этана и пропана), показывают, что при давлении выше давления верхней квадрупольной точки характер изменения кривых разложения гидратов пропана и этана существенно различаются (в координатах давление–температура): линия разложения гидрата пропана практически вертикальна, тогда как линия разложения гидрата этана более пологая (наклон $(dP/dT)_{eq}$ составляет 7,36 МПа/град.). Проведенный сравнительный анализ изменения энтальпии при нагреве в процессе плавления гидратов этана и пропана в термобарическом диапазоне, соответствующем жидкому состоянию углеводородных гидратообразующих компонентов, позволяет сделать следующие выводы:

- с ростом температуры и давления удельная теплота плавления гидрата этана несколько снижается;
- с ростом давления удельная теплота плавления гидрата пропана практически не изменяется вплоть до 20 МПа (в пределах погрешности эксперимента).

При охлаждении системы "вода–углеводород" и переводом её в зону термобарической стабильности газовых гидратов выделяется область метастабильного (безгидратного) состояния. Получен большой объём хорошо воспроизводимых экспериментальных данных относительно метастабильного состояния системы. А при отрицательных по Цельсию температурах отмечается область "двойной метастабильности", когда система одновременно метастабильна по отношению к двум твердым фазам – гидрату и гексагональному льду. Результаты калориметрических исследований метастабильного состояния углеводородов,

находящихся в водонасыщенном песке при термобарических условиях возможного гидратообразования, свидетельствуют о влиянии термической предыстории воды на направление и кинетику процесса формирования твёрдой фазы (льда и/или гидрата). В связи с этим определена степень переохлаждения воды в водонасыщенном гранулированном песке. Результаты измерения степени переохлаждения воды использовались далее при анализе и интерпретации процессов релаксации метастабильного состояния системы "вода–углеводород" в гидратную фазу. Из анализа калориметрических данных качественно могут быть выделены несколько "состояний воды" (ранжируя их по степени вероятности начала процессов гидратообразования в области стабильности гидрата или кристаллизации воды в области стабильности льда) от наименее вероятного (наибольший индукционный период начала процесса образования гидрата или льда), до наиболее вероятного (наименьший либо практически нулевой индукционный период): "свежая вода", "талая вода" и "вода после расплавления (разложения) гидрата".

Свежая вода – это вода, впервые введенная в пористую среду, либо вода, полученная перегревом водонасыщенной пористой системы выше температуры плавления льда на 20 градусов Цельсия и более. Процессы гидратообразования и кристаллизации воды в этом случае характеризуются наибольшими, по сравнению с другими состояниями воды, индукционными периодами. Следует отметить, что при перегреве системы менее чем на 20 градусов Цельсия экспериментально отмечаются "промежуточные состояния воды", требующие дополнительного исследования.

Талая вода – вода, полученная в результате плавления льда. При этом перегрев системы выше температуры плавления льда составляет 0,2–0,5 градусов Цельсия. Процесс гидратообразования здесь характеризуется достаточно большим индукционным периодом (сутки и более). Тогда как процесс кристаллизации льда характеризуется наименьшим, по сравнению с другими состояниями воды, индукционным периодом.

Вода расплавленного гидрата – вода, полученная в результате разложения гидрата при повышении температуры, либо при отборе газа из ячейки. Перегрев системы выше температуры разложения гидрата составлял 0,5–2,0 градуса Цельсия. Для воды, полученной при термическом плавлении гидрата, процесс гидратообразования характеризуется наименьшим, по сравнению с другими состояниями воды, индукционным периодом. Тогда как для воды, полученной в результате разложения гидрата при динамическом отборе газа (снижении давления газа), индукционный период начала образования гидрат практически отсутствует.

Детально исследовано влияние термической предыстории на характер эволюции метастабильного состояния системы "лёд–пропан". Установлено, что значения индукционного периода образования гидрата из льда, полученного в результате кристаллизации све-

жей, талой воды и воды растаявшего гидрата, различны и, несмотря на стохастический характер, охватывают не перекрывающиеся интервалы времени. Наименьший индукционный период имеет место для льда, полученного из воды расплавленного гидрата (10–12 тыс. секунд).

Если лёд образован кристаллизацией свежей воды, то, как правило, индукционный период начала образования гидрата был больше (21–27 тыс. секунд). Наибольший индукционный период начала образования гидрата имеет место для льда, полученного из талой воды (более 46 тыс. секунд).

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ, МОДЕЛИРУЮЩЕЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Булейко В.М., Истомин В.А., Григорьев Е.Б.

ООО "Газпром ВНИИГАЗ", 142717, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия
vlistomin@yandex.ru

Методом адиабатической калориметрии исследуется термодинамика и кинетика процессов образования и разложения гидратов шестикомпонентной газовой смеси, моделирующей состав (по гидратообразующим компонентам) пластового газа ботубинской залежи Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения. Этот состав характерен для газоконденсатных месторождений Восточной Сибири, подготавливаемых в настоящее время к промышленному освоению.

В работе использован оригинальный прецизионный экспериментальный комплекс адиабатических калориметров. Методика проведения экспериментов зарегистрирована в Российском научно-техническом центре информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия.

Показано, что фазовое поведение модельной шестикомпонентной смеси при термобарических условиях возможного гидратообразования носит достаточно сложный характер. Термобарическая область существования газогидратов распадается на ряд областей существования гидратов различных структур. Перевод системы из одной области в другую сопровождается структурными фазовыми переходами. На основе проведенных экспериментов получены фазовые диаграммы области существования газовых гидратов различных структур, а также выделена область безгидратного состояния системы. Дана сравнительная оценка полученных результатов с данными других исследователей.

Построены энтальпийные диаграммы процессов плавления и образования гидратов, фазовых переходов между различными структурами газовых гидратов и определены относительные количества фаз, образованных гидратами различных кристаллохимических структур.

Отмечены существенные отличия процесса образования гидратов природного газа от процесса их разложения. Представлен экспериментальный материал, касающийся области метастабильного состояния системы "вода–природный газ". Выделена достаточно широкая термобарическая область безгидратного метастабильного состояния, включающая область "двойной метастабильности" (метастабильности по отношению ко льду и гидратам одновременно). Выявлены основные тенденции процесса релаксации этого состояния в зависимости от его предистории. Учет наличия области метастабильного состояния системы "пластовая вода–природный газ" в продуктивном коллекторе (без образования гидратов в течение определенного времени) дает возможности подойти к более обоснованной оценке рисков и вероятности начала образования гидратов в случае попадания призабойной зоны пласта в гидратный термобарический режим.

МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ: УСТОЙЧИВОСТЬ И МЕХАНИЗМЫ РОСТА

Власов В.А., Драчук А.О., Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Молокитина Н.С.,
Нестеров А.Н., Поденко Л.С., Решетников А.М.
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия
nesterov@ikz.ru

Принято считать, что аномальная устойчивость газовых гидратов (ГГ) вне области их термодинамической стабильности при температурах ниже 273 К обусловлена образованием на поверхности гидратных частиц слоя льда, препятствующего свободному выделению газа из гидратов. Данное явление получило название эффекта самоконсервации (Якушев, 1988; Якушев и Истомин, 1989), или режима аномальной консервации (Stern et al., 2001) газовых гидратов.

Наши недавние исследования обнаружили существование метастабильных ГГ при температурах ниже 273 К и давлениях ниже равновесного давления лед–гидрат–газ, когда лед отсутствовал в образцах. Следовательно, устойчивость таких гидратов не связана с эффектом их самоконсервации. Следует различать «самозаконсервированные» ГГ, диссоциирующие ниже давления равновесия лед–гидрат–газ с аномально низкой скоростью, и метастабильные гидраты, устойчиво существующие в области P,T-фазовой диаграммы, ограниченной линиями равновесия лед–гидрат–газ и метастабильного равновесия переохлажденная вода–гидрат–газ. При этом под метастабильными гидратами в настоящей работе мы будем понимать исключительно газовые гидраты, устойчивые вне области их термодинамической стабильности, но при отсутствии у них контакта со льдом. Только к таким состояниям применимо понятие «метастабильное», которое в термодинамике определяется как состояние с локальным минимумом термодинамического потенциала.

В настоящей работе представлен обзор и выполнен анализ последних опубликованных результатов, полученных при изучении поведения метастабильных ГГ. Приводятся доказательства влияния фазового состояния непрореагировавшей воды в образцах ГГ на устойчивость метастабильных гидратов. Показано, что кристаллизация непрореагировавшей переохлажденной воды вызывает распад метастабильного состояния ГГ и их диссоциацию на лед и газ.

Работа поддержана Советом по грантам Президента Российской Федерации (НШ-3929.2014.5) и интеграционным проектом СО РАН №144. Мадыгулов М.Ш. признателен Российскому фонду фундаментальных исследований за оказанную финансовую поддержку (проект 14-08-31627).

НАКОПЛЕНИЕ ГАЗОГИДРАТНОЙ ПЕНЫ ВНУТРИ КУПОЛА ПОД ВОДОЙ

Гималтдинов И.К., Кильдибаева С.Р., Хасанов М.К., Столповский М.В.
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
Стерлитамак, Россия
iljas_g@mail.ru, freya.13@mail.ru

Согласно акустическим приближениям всплытие метановых пузырьков со дна океана при определенных термобарических условиях сопровождается образованием гидрата на поверхности пузырьков, при этом могут быть реализованы условия, когда пузырьки полностью превращаются в частицы гидрата [1,2]. В работе рассматривается математическая модель купола-ловушки, предназначенного для сбора газовых гидратов на дне океана, с целью дальнейшего получения из образовавшегося гидрата газа и воды.

Пусть на дне океана имеется источник газа, из которого с некоторым известным массовым расходом M_g выделяются метановые пузырьки, поступающие в холодную воду с температурой T , образуя при этом потоки пузырьков. Согласно предлагаемой схеме над источником газа в условиях океана устанавливается купол-ловушка. Он имеет вид цилиндра с полиуретановыми стенками, верхний торец купола закрыт, а нижний – открыт, и через него поступает газ.

Будем полагать, что все основные параметры течения трехфазной системы, состоящей из частиц газа, воды и гидрата однородны по сечению. Миграция пузырьков газа происходит в термобарических условиях, способствующих образованию гидратной оболочки. Допустим, что купол зафиксирован на таком расстоянии z^* от дна, что пузырьки газа, мигрирующие внутри купола, покрываются газогидратной коркой.

Получены поля температур, зависимости изменения объемного содержания систем газогидратных пузырьков и их радиусов для различных моментов времени.

1. Gumerov N. A., Chahine G. L. Dynamics of bubbles in conditions of gas hydrate formation // Fluid Dynamics. 1992. № 5. pp. 664–669.
2. Luo Y.-T., Zhua J.-H., Fanb S.-S., Chena G.-J. Study on the kinetics of hydrate formation in a bubble column. // Chemical Engineering Science. 2007. № 62. pp. 1000–1009.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ: ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА

¹Гранин Н.Г., ²Верещагина О.Ф., ³Козлов В.В., ²Обжиров А.И., ¹Макаров М.М.,

¹Гнатовский Р.Ю., ¹Иванов В.Г., ¹Блинов В.В., ¹Мизандронцев И.Б.

¹Лимнологический Институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

³Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Иркутск, Россия

nick@lin.irk.ru

Согласно данным 2003 г. средневзвешенные концентрации растворенного метана для Южного, Среднего и Северного Байкала составляли 31, 31 и 50 нл CH_4 л⁻¹. Общий запас метана в озере составлял 820 т. Для поддержания квазистационарного вертикального распределения метана в водах озера требовалось ежегодное поступление 80 т CH_4 (Гранин и др., 2013).

Поиск газовых факелов позволил обнаружить в 2005 году появление глубоководных выходов газа, количество которых к настоящему времени составляет более двадцати. Пузырьковый поток метана в глубоководной части Южного и Среднего Байкала, согласно данным акустических измерений, составил 1400 – 2800 т год⁻¹ (Granin et al., 2012), что значительно превышает оценки поступления метана по данным 2003 года (Гранин и др., 2013, Schmid et al., 2007).

Измерения 2013 года свидетельствуют о значительном увеличении средневзвешенных концентраций до 122, 174 и 160 нл л⁻¹ в южной, средней и северной котловинах озера и запаса метана в озере до 2550 т. Таким образом, за 10 лет общий запас CH_4 в водной толще увеличился в 3 раза. Если допустить, что переходный процесс начался в 2003 г и сопровождался линейным нарастанием запаса CH_4 , то среднегодовой его прирост составил 173 т, что соответствует увеличению средневзвешенной концентрации на 11 нл CH_4 л⁻¹ год⁻¹.

Причиной изменений концентрации метана может быть повышение уровня озера после строительства Иркутской ГЭС. После повышения уровня озера нижняя граница устойчивости газовых гидратов заглубилась, что вызвало образование газовых гидратов, понижение внутрипластового давления и интенсивности выходов метана. В настоящее время происходит возрастание интенсивности выходов метана, которое сопровождается увеличением концентрации метана в водной толще. Аналогичное явление может наблюдаться в Каспийском море.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИДРАТОСОДЕРЖАНИЯ В ДОННЫХ ОСАДКАХ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ)

Дучков А.А., Дучков А.Д., Фадеева И.И.

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия
DuchkovAD@ipgg.nsc.ru*

Ранее при проведении лабораторных экспериментов было показано, что наличие гидратов в осадках может быть выявлено геотермическим методом, заключающимся в измерении температуры (Т) при нагревании гидратсодержащей среды цилиндрическим источником тепла постоянной мощности, как в условиях устойчивого состояния газовых гидратов в течение всего нагрева (стабильная обстановка), так и при их разложении (нестабильная обстановка) [Дучков А.Д. и др., 2006, 2009]. Показано, что сопоставление двух графиков Т от времени (термограмм), соответствующих разным состояниям (стабильному и нестабильному) газогидратов, позволяет однозначно судить об их наличии в образце (или в осадках). В настоящем сообщении рассматриваются методы количественной интерпретации измеренных термограмм. В первом случае при интерпретации измеренных термограмм используются аналитическое описание изменений Т при нагревании цилиндрическим зондом, а также известные формулы для расчета теплопроводности и мощности нагревателя [Дучков А.Д. и др., 2011, 2012]. В результате оценивается реальная и кажущаяся теплопроводности гидратсодержащего образца, мощности нагревателя, израсходованные на нагревание и на разложение гидратов. По этим данным рассчитывается энергия, затраченная на разложение гидрата, и масса разложившегося гидрата и приближенно оценивается содержание газогидратов в единице объема. Второй метод [Фадеева И.И. и др., 2013] использует автомодельное решение одномерной задачи о фазовом переходе в среде с осевой симметрией при нагревании бесконечно тонким цилиндрическим источником. Сформулирована обратная задача определения количественного содержания газогидратов и теплофизических свойств осадков. Задача решается в оптимизационной постановке путем уменьшения невязки между наблюдаемыми и измеренными термограммами на выделенных участках. Предложенный метод интерпретации позволяет по двум термограммам определить тепло- и температуропроводность среды и оценить содержание в ней газогидратов.

Исследования поддержаны Междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН № 19 (2012-2014) и проектом РФФИ № 12-05-00415-а.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБРАЗОВАНИЕМ И РАЗЛОЖЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ С БОРТА ГЛУБОКОВОДНОГО ОБИТАЕМОГО АППАРАТА «МИР»

Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
avegorov@ocean.ru

В докладе представлены результаты наблюдений за механикой глубоководных фазовых переходов, полученных в ходе экспедиции РАН «Миры на Байкале 2008-2010». Предметом исследования являлись пузыри метана, которые всплывали со дна озера на глубинах 405, 860 и 1400 метров. Глубины принадлежат зоне стабильности газовых гидратов (ЗСГГ) для метана. Всплывающие со дна пузыри газа тут же отбирались ловушкой, имеющей вид перевернутого стакана. Установлено, что поведение пузырей в ловушке определяющим образом зависит от глубины. Так на глубине 405 метров пузыри метана беспрепятственно коалесцировали друг с другом и объединялись в единый пузырь внутри ловушки подобно обычным пузырям. Опыты на глубине 860 метров показали, что, попав в стакан, пузыри покрывались твёрдой гидратной оболочкой, сохраняя свою первоначальную форму. Спустя несколько минут оболочка разрушалась на множество твёрдых гидратных фрагментов, которые демонстрировали все свойства сыпучей среды. Никаких изменений с образовавшейся гидратной сыпучей средой не наблюдалось при подъеме ловушки до глубины 380 метров, являющейся верхней границей ЗСГГ. Выше начиналось разложение гидратной сыпучей среды и превращение её в газ метан. Наконец, в экспериментах на глубине 1400 метров пузыри покрывались гидратной оболочкой, но не разрушались, а формировали в ловушке устойчивую твёрдую гидратную пену. При всплытии с глубины 1400 метров образовавшаяся пенная структура расширялась, при этом из неё выходил свободный газ, заполняющий ловушку. Анализ результатов измерений показывает, что массовая доля твёрдой фазы в образовавшейся твёрдой пене мала по сравнению с массовой долей газа.

Работа поддержана 23 Программой Президиума РАН.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ И РАЗЛОЖЕНИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
avegorov@ocean.ru

В ходе экспедиции РАН «Миры на Байкале. 2008-2010» проведены глубоководные эксперименты по транспорту со дна озера на поверхность крупных фрагментов гидратов метана, отобранных механически из донных залежей, и гидратной пены, сформированной всплывающими со дна метановыми пузырями. Гидратные образцы обоих типов поднимались в контейнерах, в которых крышка и стенки непроницаемы, а дно отсутствовало. При движении от дна озера к поверхности контейнера с гидратной пеной происходило вытеснение воды из контейнера газом, который присутствовал в пене и который расширялся по мере снижения гидростатического давления. Температура газа в контейнере с пеной непрерывно уменьшалась до глубины 800 м, затем наблюдался её небольшой рост. В контейнере с крупными фрагментами существенного изменения температуры не наблюдалось. Однако, как только контейнеры поднялись выше границы зоны термодинамической устойчивости гидратов, температура в обоих контейнерах резко упала. Достигнув отрицательных значений, температура также резко стабилизировалась и не изменялась далее до момента достижения поверхности. Снижение температуры в пене в течение подъёма объясняется охлаждением газа за счёт совершения работы против сил гидростатического давления, а падение температуры на границе зоны термодинамической устойчивости гидратов связано с поглощением тепла при разложении гидрата.

Работа поддержана 23 Программой Президиума РАН.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СООБЩЕСТВА ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ В ЗОНАХ ПОСТУПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Земская Т.И., Ситникова Т.Я.
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия
tzema@lin.irk.ru

Озеро Байкал характеризуется наличием разнообразных геологических структур на дне, приуроченных к зонам разломов (Khlystov et al., 2013). В районах метановых сипов, грязевых вулканов и ветровой структуры развиваются бентосные сообщества, жизнедеятельность которых основана на поступающих из донных осадков углеводородах (Zemskaya, 2012). В районах естественных разгрузок газо- и нефтесодержащих флюидов озера выявлены высокие плотности поселения животных. Численность донных беспозвоночных в каждой из исследованных геологических структур была выше отмечаемой ранее для условно фоновых участков дна озера. Наиболее высокая плотность поселения зообентоса выявлена в районе низкотемпературного подводного источника в бухте Фролиха, она варьировала от 13 до 135 тысяч экземпляров на квадратный метр. В исследованных структурах следует отметить высокое разнообразие животных, принадлежащих различным таксонам, в том числе и новые для науки виды животных. В районе нефтяного сипа Горевой Утес внутри и на битумных постройках обнаружен своеобразный консорциум, в составе которого идентифицированы водные грибы рода *Phytium*, археи, бактерии, в том числе метанотрофные, а также нематоды и остракоды. Очевидно, что битумные постройки, гидраты метана и другие углеводородные газы в Байкале предоставляют практически неограниченный источник углерода и энергии для микроорганизмов. Лимитирующим фактором в использовании углеводородов в глубинной зоне и донных осадках, как и в других экосистемах, является доступность акцепторов электронов. В качестве таковых можно отметить кислород (в придонной области и поверхностных слоях осадка), SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^- , повышенные концентрации которых зафиксированы в местах поступления газо-нефтесодержащих флюидов исследуемых районов. В 2010 г. над газогидратным полем в Среднем Байкале (метановый сип «Санкт-Петербург») при спусках ГОА «Мир» на поверхности дна обнаружены желеобразные микробные маты, образующие небольшие поля (диаметром около 1 кв. м.) над мощными слоями гидратов метана. Отжатая из них вода отличалась по химическому составу от придонной воды и поровых вод осадков, в ней отмечались высокие концентрации ионов железа, хлора, сульфата и брома. С помощью световой, эпифлюоресцентной и сканирующей микроскопии в исследуемых образцах микробных матов выявлено большое количество створок диатомовых водорослей и морфологически разнообразных слизиобразующих микроорганизмов. Как показали наши дальнейшие исследования, микробные маты, формирующиеся над полями ГГ, отличались

по структуре и функциональным характеристикам от бактериальных матов, приуроченных к низкотемпературному подводному источнику в бухте Фролиха (Северный Байкал). Их функционирование в районе метанового сипа «Санкт-Петербург» основано на метанотрофии, поскольку наличие в придонной области кислорода и поступающего из осадка метана обеспечивает высокую продуктивность метанотрофных бактерий, служащих наряду с ответившими водорослями субстратом для первичных деструкторов и ацетогенов.

Известно, что в бентосных пищевых сетях озер включение углерода метана осуществляется через личинки хирономид, потребляющих метанооксидающие бактерии (Jones and Grey, 2011). Результаты анализа стабильных изотопов углерода и азота в тканях макробентосных животных показали, что в оз. Байкал кроме хирономид существует широкий спектр видов, усваивающих углерод метана. Значения соотношений стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в тканях этих животных, обитающих в местах разгрузки метана, отличались от отмеченных ранее для животных из других районов бентали озера (Yoshii, 1999). Полученные данные свидетельствуют о наличии разнообразных пищевых стратегий в глубинной зоне озера, обеспечивающих существование огромного количества эндемичных видов, так отличающего Байкал от других пресноводных экосистем.

Исследования выполнены при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №82, программы Президиума РАН №23, а также ФССОБ (Фонда содействия сохранению озера Байкал).

1. Khlystov O., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts L., Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties. // J Asian Earth Sci. 2013. 62(1).
2. Zenskaya T.I., Sitnikova T.Y., Kiyashko S.I., Kalmychkov G.V., Pogodaeva T.V., Mekhanikova I.V., Naumova T.V., Shubenkova O.V., Chernitsina S.M., Kotsar O.V., Chernyaev E.S., Khlystov O.M. Faunal communities at sites of gas- and oil-bearing fluids in Lake Baikal. //Geo-MarLett.2012. 32
3. Jones R. and Grey J. Biogenic methane in freshwater food webs. //Freshwater Bio. 2011. 56.
4. Yoshii K. Stable isotope analysis of benthic organisms in LakeBaikal. // Hydrobiologia. 1999. 11.

САМОСБОРКА ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Игошин Д.Е., Амелькин С.В.

*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, Тюмень, Россия
igoshinde@gmail.com*

При исследовании кристаллизации газовых гидратов [1–3] обнаружены необычные структуры роста в виде тонкой пленки, состоящей из "островков" слабо связанных адгезией с поверхностью реактора зерен микрокристаллов гидратов, и сети капиллярных каналов, по которым мигрирует вода или водный раствор.

В докладе наблюдаемый рост газовых гидратов связывается с самосборкой пористых структур за счет генерации вторичных центров кристаллизации при капиллярном течении смачивающей пленки раствора [4]. Продвижение фронта массовой кристаллизации рассматривается как последовательное случайное заполнение зернами ячеек сетки. Для решения задачи использован метод клеточных автоматов. Из анализа решений и их устойчивости следует, что фронт массовой кристаллизации будет распространяться со средней скоростью, близкой к средней скорости роста индивидуальных зерен. Для "запуска" роста пористых структур необходимо предварительно инициировать течение пленки раствора по затравке из зерен ГГ.

Обсуждается влияние теплообмена и химического состава водного раствора на кинетику роста пористых структур газовых гидратов.

1. Кутергин О.Б., Мельников В.П., Нестеров А.Н. Влияние поверхностно- активных веществ на механизм и кинетику гидратообразования газов // Докл. РАН 1992., Т.323.- N 3, С.549-553.
2. Амелькин С.В., Мельников В.П., Нестеров А.Н. Кинетика роста газовых гидратов в разбавленных растворах ингибиторов-неэлектролитов // Коллоидный журнал, 2000. – №4. – С.450-465.
3. Lee J. D., Englezos P. Unusual kinetic inhibitor effects on gas hydrate formation // Chemical Engineering Science, 2006, № 61, P.1368 – 1376.
4. Амелькин С.В., Игошин Д.Е. Капиллярные течения и самосборка пористых гидратных структур // Труды института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. Уфа, Нефтегазовое дело, 2012. – С.22–25.

ТЕРМОДИНАМИКА ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ГАЗОВЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СКВАЖИН

Истомин В.А., Федулов Д.М.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия
vlistomin@yandex.ru

Как известно, гидратообразование в призабойной зоне пласта (ПЗП) имело место при эксплуатации Мессояхского газового месторождения, причем не исключалось наличие газогидратной компоненты в верхней части продуктивного разреза (газ–газогидратное месторождение). В настоящее время в России планируются к разработке низкотемпературные газовые и газоконденсатные залежи, для которых в ПЗП возможно гидратообразование уже при рабочих депрессиях на пласт, а также при газодинамических исследованиях скважин.

В ближайшее время начинается промышленное освоение надсеноманских (турон-сенонских) месторождений Западной Сибири. Эти газовые залежи неглубокого залегания находятся в "предгидратном термодинамическом режиме": температуры ниже 17–20 °С при начальных пластовых давлениях 10–12 МПа (имеет место АВПД). Например, для туронской залежи Южно-Русского месторождения "безгидратный запас по температуре" составляет всего 2–3 °С. На этом месторождении с декабря 2011 г. эксплуатируется опытная двуствольная скважина и планируется бурение второй эксплуатационной скважины. Недавно подготовлен проект опытно-промышленной эксплуатации туронских залежей Заполярного месторождения (декабрь 2013 г.). Как известно (Агалаков С.Е. и др.), севернее Заполярного месторождения надсеноманские залежи оказываются в гидратном термобарическом режиме (на линии трехфазного равновесия газ–вода–гидраты), т.е. эти залежи следует относить к газ–газогидратным. Ряд подготавливаемых к промышленному освоению газоконденсатных месторождений республики Саха (Якутия) также характеризуются низкими пластовыми температурами (9–16 °С) при начальных пластовых давлениях 13–15 МПа. Термобарические условия в таких залежах формально находятся глубоко в гидратной области фазовой диаграммы ("вторжение" в гидратную область на 10–12 °С), однако высокая минерализация остаточной поровой влаги, в основном, обеспечивает «безгидратность коллектора». Таким образом, на новых месторождениях ОАО "Газпром" имеются риски гидратообразования при дросселировании газа в ПЗП. Более того, возможно наличие гидратной компоненты в зонах пониженной минерализации остаточных вод в коллекторе.

В работе рассматривается термодинамика конденсации влаги при дросселировании газа в ПЗП низкотемпературных залежей. Разработана методика расчета влагосодержания пластового газа при равновесии с минерализованной поровой влагой (вплоть до минерализации ~400 г/л). Исследуются термодинамические особенности гидратообразования в ПЗП

для туронских залежей Западной Сибири с низкой (15–20 г/л) и ботубинских залежей республики Саха с высокой (до 350–380 г/л) минерализацией остаточной поровой влаги в коллекторах.

Проанализирован случай низкой минерализации поровой влаги в коллекторе. Показано, что при эксплуатации скважины за счет конденсации паров воды из природного газа при фильтрации водной фазы в ПЗП происходит постепенное вымывание солей конденсационной водой. Поэтому безгидратную депрессию на пласт (т.е. максимальную депрессию, когда гидраты еще не образуются в ПЗП) для длительно работающих эксплуатационных скважин следует рассчитывать без учета минерализации, т.е. для опресненной поровой влаги. Построена номограмма определения безгидратных депрессий в зависимости от термобарических условий пласта. При превышении безгидратных депрессий становится возможным гидратоотложение в ПЗП, причем оно осуществляется по двум параллельно-протекающим механизмам: как из жидкой воды (фильтрующейся совместно с газом в зону гидратообразования), так и из поровой влаги (конденсацией водяных паров непосредственно в гидратную фазу).

Детально рассмотрен случай высокой минерализации поровой влаги в коллекторе применительно к месторождениям республики Саха (Якутия). Показано, что механизм образования гидратов в ПЗП с высокой минерализацией поровой влаги существенно отличается от случая низкой минерализации. Проанализировано понятие безгидратной депрессии на пласт, которое в случае высокой минерализации модифицируется, а также введено новое понятие времени начала гидратообразования ("безгидратное время"). Приведены номограммы определения безгидратной депрессии для разведочных и эксплуатационных скважин. При депрессиях на пласт, не превышающих безгидратную, постепенно устанавливается стационарный профиль концентрации солей в поровом растворе от начального значения вдали скважины до некоторого (меньшего) значения на забое, после чего влага из дросселирующегося природного газа вообще перестает конденсироваться. При депрессии на пласт, превышающей безгидратную, также устанавливается стационарное распределение концентрации солей, однако в зоне возможного гидратообразования конденсация паров воды из газа продолжается непосредственно в газогидратную фазу.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НИЗШИХ АЛКАНОВ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Калачева Л.П.

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

lpko@mail.ru

Одним из факторов, влияющих на характер механохимических превращений веществ, является среда, в которой проводится активация. В отличие от процессов механоактивации (МА) природного газа, механореакции гидратов природного газа протекают в среде воздуха в присутствии воды. Известно, что молекулы воды в процессе интенсивной обработки на поверхности металла распадаются на радикалы водорода и гидроксила [1]. Эти радикалы способны инициировать химические процессы в реакционной среде. Следовательно, химические превращения углеводородов в водной среде в процессе механоактивации гидратов природного газа могут протекать по радикально-цепному механизму. Анализ возможных радикальных реакций углеводородов показал, что возможно протекание 6 различных реакций: разрыва связей, рекомбинации радикалов, диспропорционирования, распада радикалов, Н-перехода и реакции в растворе. Из них наиболее важными в процессе МА гидратов являются реакции Н-перехода и реакции в растворе. Установлено, что при МА гидратов природного газа могут протекать 2 конкурирующие бимолекулярные радикальные реакции Н-перехода: реакции отщепления атома водорода от молекул углеводородов-гидратообразователей радикалами водорода и гидроксила. Термодинамический расчет энергии конкурирующих реакций алканов С1-С4 показал, что ΔG_T этих реакций с участием радикала гидроксила от 2 до 10 раз ниже, чем энергия реакций замещения атомом водорода. Следовательно, в отличие от МА газообразных углеводородов при интенсивной обработке гидратов природного газа вероятность образования углеводородных радикалов больше за счет образования радикала гидроксила в реакционной среде. На основании термодинамических расчетов предложена схема радикально-цепных реакций углеводородов-гидратообразователей, которая позволяет предположить изменение направлений химических превращений низших алканов при МА углеводородов в водной среде.

1. Хайнике Г. Трибохимия / Пер. с англ. М.Г. Гольдфельда.-М.: Мир, 1987.-582 с.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАНА ГИДРАТОНОСНЫХ СТРУКТУР (СИПЫ, ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ) ОЗЕРА БАЙКАЛ

¹Калмычков Г.В., ²Хачикубо А., ³Егоров А.В., ⁴Хлыстов О.М.

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия,

²Технологический институт г. Китами, Китами, Коен-чо, 165, 090-8507, Япония

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

⁴Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

gkalm@igc.irk.ru

Приведены результаты изучения геохимических характеристик (компонентный состав газа, $\delta^{13}\text{C}$) метана в местах разгрузки газа со дна Байкала, поскольку именно к этим районам приурочены приповерхностные залежи ГГ.

На основании полученных данных установлено, что в осадках Байкала присутствует метан различных генетических типов: бактериальный, термогенный и смешанный. Бактериальный метан характеризуется низкой примесью гомологов ($\text{C}_1/\text{C}_{2+} = 790 \div 180000$). Среднее значение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ составляет $-68,2\text{‰}$ ($-94,2\text{‰} \div -60,3\text{‰}$). В осадках фоновых станций $\delta^{13}\text{C}_{\text{ср.}} = -71,6\text{‰}$ ($-94,2\text{‰} \div -62,9\text{‰}$), а в районах разгрузки бактериального газа $\delta^{13}\text{C}_{\text{ср.}} = -65,3\text{‰}$.

Метан термогенного происхождения обнаружен в осадках Центральной котловины озера. Среднее значение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ составляет $-45,43\text{‰}$ (мин. = $-59,00\text{‰}$; макс. $-38,50\text{‰}$), а $\delta^{13}\text{C}$ этана варьирует от $-23,36\text{‰}$ до $-33,3\text{‰}$, среднее $-28,40\text{‰}$. Выделяются два типа термогенного метана, которые имеют практически одинаковые изотопные характеристики, но резко различаются по компонентному составу. Первый в качестве примеси содержит гомологи от этана до бутана. Во втором они представлены практически одним этаном, причем в большом количестве (до 4,5%).

Метан смешанного генезиса (бактериальный+термогенный) обнаружен в местах разгрузки газа со дна озера и характеризуется значением $\delta^{13}\text{C}$ типичным для байкальского бактериального метана, но в качестве примеси содержит высокие количества термогенного ($\delta^{13}\text{C}-\text{C}_2 = -30,2\text{‰} \div -20,8\text{‰}$) этана. Пропан присутствует в следовых количествах, а бутан ни в одной пробе смешанного газа обнаружить не удалось. Предложен механизм образования метана с такими характеристиками.

Практически во всех исследованных районах разгрузки газа в осадках обнаружены ГГ. Они имеют практически такой же изотопный состав углерода, что и газ, растворенный в поровых водах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 82.

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

¹Кириллова Г.Л., ²Обжиров А.И., ¹Гресов А.П.

¹*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия*

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,*

Владивосток, Россия

obzhirov@poi.dvo.ru; kirillova@itig.as.khb.ru

Континентальные газогидраты слабо изучены, поэтому каждое их проявление заслуживает внимания. Тем более что газогидратные залежи обладают наибольшим потенциалом по сравнению с другими нетрадиционными источниками газа.

Исследованиями установлено, что на ряде площадей Буреинского углефтегазоносного бассейна в зонах развития толщи многолетнемерзлых пород мощностью 60–80 м существуют реальные природные термобарические условия для формирования газогидратов. Наличие мощного подмерзлотного водоносного горизонта трещинных вод, приуроченных в основном, к зоне криогенной дезинтеграции, является благоприятным фактором для формирования газогидратов.

В то же время газогидраты могут служить флюидоупорами для углеводородов. Установлено, что верхняя граница зоны стабильных газогидратов залегает на глубинах 120–160 м, нижняя – 320–360 м.

Наиболее благоприятными условиями для формирования газогидратов признаны Адниканское, Чемчукинское, Чагдомынское, Леовосолонийское, Иорекское и Среднеургальское поднятия. Они расположены к приконтактовым зонам крупных разломов: Солонийского, Ургальского и Кындальского. К ним же приурочены газопроявления.

Данные газогеохимических исследований также косвенно указывают на возможность гидратообразования в Буреинском бассейне.

Совместное залегание пластов угля, залежей природного газа и нефти обуславливает стратегию комплексного развития и освоения Буреинского бассейна, в том числе совместной добычи угля, угольного метана, природного газа и нефти. Упрощает задачу наличие трассы БАМ, пересекающей бассейн.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР КЛАТРАТНЫХ ГИДРАТОВ

^{1,2}Комаров В.Ю., ¹Грачев Е.В., ^{1,2}Подоксенов А.В.

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ),

Новосибирск, Россия

komarov_v_y@ngs.ru

Свойства клатратных гидратов в значительной степени зависят от их строения, определяющего степень и характер взаимодействия гость–гость, хозяин–хозяин и гость–хозяин. Анализ данных по строению газовых гидратов, а также родственным им ионных клатратных и полуклатратных гидратов, позволяет выявить следующую иерархическую систему структурных источников их фазового многообразия [1,2]:

1. возможность изменения типа каркаса хозяина;
2. возможность вариантов размещения гостя в рамках одного каркаса хозяина (рис.);
3. существование ряда конформаций частиц гостя при их одинаковом расположении.

Чаще всего во внимание принималась только первая причина. Только отдельные особенности, наблюдавшиеся для гидратов некоторых карбоксилатов $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}^+$ и $(i\text{-C}_5\text{H}_{11})_4\text{N}^+$, объяснялись с использованием остальных причин [3].

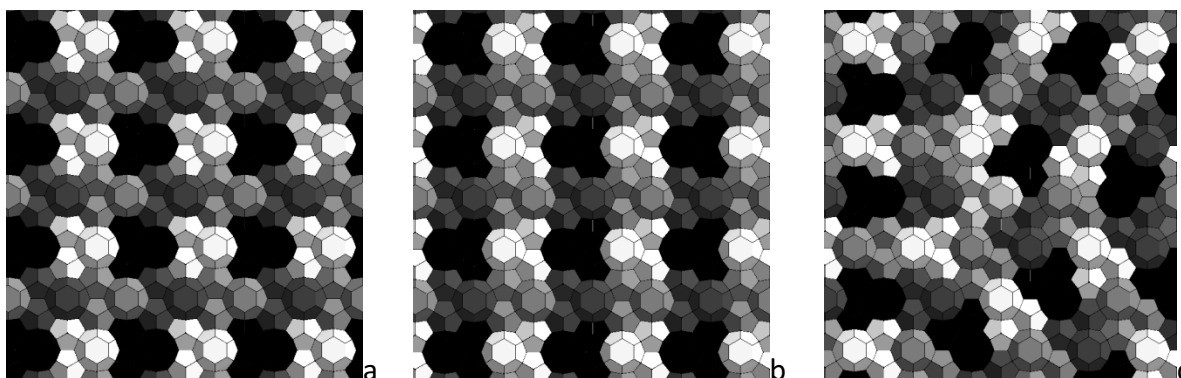


Рис. Различные периодические (a,b) и аperiodическое (c) размещение полостей в каркасе ГС-I, характерном для гидратов солей $(i\text{-C}_5\text{H}_{11})_4\text{N}^+$

В докладе приводятся примеры модельных каркасов хозяина и клатратных гидратов, демонстрирующие возможность изменения структуры на разных ступенях иерархии. Обсуждается необходимость ее развития для понимания особенностей строения реальных фаз.

[1] G.A. Jeffrey, *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, 1996, **6** (23), 757.

[2] V.Yu.Komarov, S.F.Solodovnikov, et al., *Crystallography Reviews*, 2007, **13** (4), 257.

[3] А.Ю. Дядин, К.А. Удачин, *Журнал Структурной Химии*, 1987, **28** (3), 75.

ИЗВЕРЖЕНИЯ И НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ПУЗЫРЬКОВЫХ ВЫХОДОВ ГАЗА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

¹Макаров М.М., ²Муякшин С.И., ¹Кучер К.М., ¹Гнатовский Р.Ю., ¹Гранин Н.Г.

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия,

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru; serg_mun@list.ru

В 2000-х годах был организован ежегодный поиск и мониторинг пузырьковых выходов газа (ПВГ). Согласно нашим данным, существуют как выходы газа активные при всех посещениях («Санкт-Петербург», «Красный-Яр», «Ворота»), так и выходы газа, которые активны время от времени («Маленький», «Новосибирск»).

На сегодняшний день зарегистрировано два случая «извержений» - начало активности ПВГ. Первое событие было зарегистрировано в 1:22 18.07.2012 в районе ПВГ «Маленький», глубина места 1295 м. Высота факела возросла до 783 м менее, чем за 1 час, средняя скорость всплытия (увеличения высоты факела) составила 17 см/сек. Эта скорость соответствует пузырькам с диаметром от 1 до 2 мм (Ira Leifer 2010). Последующие порции газа выбрасывались с интервалами от 2 до 7 мин. Второе извержение было зарегистрировано в 3:28 19.07.2012, в районе ПВГ «Санкт-Петербург», глубина места 1377 м. Высота факела возросла до 905 м. за 1 час 19 минут. Средняя скорость всплытия составила 19 см/сек. Последующие порции газа выбрасывались с периодами от 7 до 11 мин. Оба события были зарегистрированы в сравнительно короткий промежуток времени. Можно предположить, что извержения газа были спровоцированы дальними землетрясениями, произошедшими незадолго до этих событий. Пульсирующий режим истечения пузырьков газа позволяет рассчитать средние скорости всплытия пузырьков и их размеры, например для ПВГ: «Санкт-Петербург», «Маленький», «Песчаная» скорости равны: 16, 27 и 22 см/сек.

Весной 2013 года была выполнена акустическая съемка ПВГ «Ступа» со льда озера. В течение 5 часов наблюдались всплывающие со скоростями от 9 до 24 см/сек ансамбли пузырьков. Было зарегистрировано 5 случаев высоких (до 40 см/сек) скоростей всплывания акустических неоднородностей на глубинах от 250 до 50 м. Газовые пузыри не могут всплывать с такими скоростями. Скорее всего, это были обломки газовых гидратов. По нашим оценкам их размеры составляют от 20 до 30 см. Подтверждение возможности всплывания газовых гидратов было получено летом 2013 года. В районе ПВГ «Ступа» на поверхности воды были обнаружены кусочки всплывших разрушающихся газовых гидратов.

РЕЛИКТОВЫЕ ГАЗОГИДРАТЫ КАК ОСЛОЖНЯЮЩИЙ ФАКТОР ОСВОЕНИЯ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ФОНЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ

Микляева Е.С., Перлова Е.В., Леонов С.А.

ООО Газпром ВНИИГАЗ 142717, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия

E_Miklyaeva@vniigaz.gazprom.ru

Успешное освоение месторождений в северных регионах (например, освоение стратегически важных объектов газодобычи полуострова Ямал) в значительной степени зависит от учета сложных геокриологических условий и гидратонасыщенности криолитозоны.

Опыт эксплуатации месторождений в северных регионах (например, в Надым-Пур-Тазовском регионе) свидетельствуют о возможности возникновения различных осложнений – вплоть до серьезных аварийных ситуаций - на всех стадиях освоения месторождений.

Освоение ямальских месторождений происходит на фоне естественного потепления климата в арктических регионах. Даже незначительное повышение среднегодовой температуры гидратонасыщенных многолетнемерзлых пород за период эксплуатации газодобывающих объектов может привести к интенсификации всех вышеописанных процессов, связанных со сложностью геокриологических условий и гидратонасыщенностью криолитозоны, и самым негативным образом отразиться на безопасности и эффективности освоения месторождений полуострова Ямал.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ

¹Мусакаев Н.Г., ²Уразов Р.Р.

¹Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, Тюмень, Россия

²Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета,
Ишимбай, Россия

musakaev@ikz.ru; UrazovR@yandex.ru

Для многих трубопроводов, транспортирующих природный газ, является характерным образование при определенных термодинамических условиях отложений газовых гидратов на внутренней поверхности канала. Эти негативные явления приводят к различным осложнениям, вплоть до полного прекращения транспортировки углеводородного сырья. Основными условиями, способствующими образованию гидратов при течении влажного природного газа на стенках трубопровода, являются: 1) наличие свободной воды и молекул газа

(в диапазоне от метана до бутана); 2) падение температуры ниже температуры образования гидратов для соответствующих значений давления и состава газа; 3) высокие рабочие давления, которые способствуют повышению температуры образования гидратов. Соответственно для предотвращения гидратообразования в трубопроводах нужно не допускать возникновения вышеназванных условий.

В работе численное исследование превентивных методов борьбы с образованием газовых гидратов проведено на основе построенной математической модели одномерного течения влажного углеводородного газа в горизонтальном трубопроводе с переменным во времени и пространстве сечением из-за отложений гидратов на внутренних стенках канала. Изучены такие методы искусственного создания термодинамической неустойчивости гидратной фазы как: изменение состава или удаление одного из компонентов гидрата; поддержание температуры потока выше температуры образования гидрата при неизменном давлении; снижение давления в трубопроводе ниже уровня стабильности гидрата при неизменной температуре; закачка ингибитора для уменьшения стабильности гидрата при неизменном давлении и температуре.

Областями применения результатов исследования могут быть прогнозирование возможных осложнений в трубопроводе из-за образования газовых гидратов, обоснование существующих способов предотвращения гидратообразования, планирование наиболее эффективной стратегии борьбы с твердыми отложениями в системах добычи, сбора и подготовки углеводородного газа.

ОЦЕНКА ПУЗЫРЬКОВОГО ПОТОКА МЕТАНА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

²Муякшин С. И., ¹Макаров М.М., ¹Гнатовский Р.Ю., ¹Гранин Н.Г., ¹Кучер К.М.

¹*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

²*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия*

mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru; serg_mun@list.ru

С 2002 года по настоящее время с помощью эхолотов в озере Байкал ведется поиск и мониторинг донных пузырьковых выходов метана (факелов). На сегодняшний день зарегистрировано более 100 таких выходов. Около 20 из них находятся на глубине, существенно превышающей глубину стабильности газового гидрата метана (ГГ) в Байкале (≈ 380 м). Оценки пузырькового потока метана проводилась по методике (С.И.Муякшин, Е.Заутер. Океанология, 2010). Ее отличительными особенностями являются использование принципа некогерентного суммирования интенсивностей и учет распределения пузырьков по размерам.

Для измерений на озере Байкал использовался доработанный и прокалиброванный эхолот Furuno FCV1100 с рабочей частотой 28 кГц и шириной диаграммы направленности 24° , который регистрировал данные в цифровой форме. В статье (N.G. Granin, S.I.Muyakshin et al., Geo-Mar. lett. 2012) приведены первые результаты применения этой методики для 4-х глубоководных факелов (>380 м) в Южном и Среднем Байкале. Для разных факелов были получены величины потока от 14 до 97 т/год.

Проведена обработка данных зондирования около 20 факелов, находящихся на промежуточных ($380 \div 700$ м) и малых (<380 м) глубинах. Для оценки высоты факелов введена пороговая величина объемного сечения рассеяния (-80 дБ отн. 1/м). Высота факелов изменяется от $100 \div 300$ м (при потоках $1 \div 30$ т/год) до $500 \div 900$ м (при потоках $30 \div 110$ т/год). Факелы с глубин $900 \div 1300$ м даже при потоках $30 \div 100$ т/год никогда не поднимаются выше глубины устойчивости ГГ. Но при сравнимых потоках факелы с глубин $400 \div 600$ м почти достигают поверхности. Большая величина потоков, как в глубоководных, так и в мелководных факелах, может объясняться их групповым характером (Granin et al., Geo-Mar lett. 2010). При уменьшении потока (< 30 т/год) высота факелов, возникших на глубинах $400 \div 600$ м, быстро падает. Результаты данного исследования могут быть использованы для уточнения влияния пузырьковых струй газа на перемешивание водной массы Байкала, а также для оперативной оценки потока газа по высоте факела.

ОСОБЕННОСТИ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Накоряков В.Е., Елистратов С.Л., Мисюра С.Я.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия
nakve@itp.nsc.ru; elistratov@itp.nsc.ru; misura@itp.nsc.ru

Спирты широко применяются предприятиями нефтегазовой промышленности в качестве ингибиторов гидратообразования и добавок в технологические растворы. Так как метанол оказывает неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду, то в настоящее время повышенный интерес проявляется к альтернативным спиртам, в частности к изопропанолу, который является относительно недорогим реагентом с низкой токсичностью и невысокой коррозионной активностью.

В работе исследовалась диссоциация гранул двойного гидрата с изопропанолом и гидрата метана при существенно различающихся темпах нагрева образцов. Тепловые потоки отличались в десятки раз. Проведены тепловизионные измерения тепловых полей поверхности образцов. Скорости диссоциации газовых гидратов увеличиваются в несколько раз при многократном увеличении теплового потока. При горении метана на поверхности порошка образуется тонкая плёнка воды, существенно влияющая на механизмы тепло- и массообмена. В экспериментах наблюдалась частичная самоконсервация для гидрата метана и отсутствие самоконсервации для двойного гидрата с изопропанолом. Наблюдаемая в эксперименте скорость распада двойного гидрата с изопропанолом значительно ниже, чем для гидрата метана. Выявлено несколько характерных режимов диссоциации. Нестационарное разрушение образца существенно отличается от квазистационарного режима диссоциации. Тепловизионные измерения выявили неоднородный характер разрушения как отдельных гранул, так и неравномерное температурное поле поверхности образца. Определены мгновенные скорости газовыделения гидрата метана и двойного гидрата с изопропанолом. Изучение процессов диссоциации газовых гидратов при отрицательных температурах требует совместного решения нестационарных задач по переносу тепла и импульса в газовой и жидкой среде, по диффузии газа. Необходимо учитывать предысторию разрушения и кинетику структурных изменений образующегося льда в широком диапазоне температур и давлений газа.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ УГЛЕВОДОРОДОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ДОБЫЧИ

Обжиров А.И.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия
obzhirov@poi.dvo.ru*

Важно отметить, что разграничение на традиционные и нетрадиционные углеводородные ресурсы является искусственным. Надо разобраться, какие источники углеводородов создают традиционные и нетрадиционные залежи углеводородов. Детальное рассмотрение геологических закономерностей формирования скоплений углеводородов показывает, что понимание этих процессов помогает в вопросах поисков углеводородов, оценки количества УВ в них и методов извлечения углеводородов.

Нетрадиционные источники УВ.

Перечислим нетрадиционные источники УВ. Это – газогидраты, угольный метан, сланцевый газ, плотные коллектора, биогаз. Добавим еще одно – углегазовые сланцы, названный нами как разновидность сланцевого газа. Дадим характеристику этим источникам и покажем взаимосвязь их с традиционными источниками УВ.

Газогидраты. Это твердое вещество, похожее на лед, образуется при внедрении углеводородов в пространство между молекулами воды при высоком давлении и низкой температуре. Газогидрат играет очень важную роль в геологической истории Земли и формировании залежей нефти и газа. Газогидрат консервирует углеводороды, которые мигрируют к поверхности из нефтегазовых залежей, мантии и других источников. Важность изучения газогидратов состоит в том, что в них сохраняются триллионы м³ углеводородов, которые можно добывать как нетрадиционные залежи.

Угольный метан. Это один из значительных источников углеводородов. Кроме углей угленосные бассейны содержат большое количество метана, тяжелых углеводородов (C₂-C₄), частично нефть и другие газы, в том числе водород. Метаноносность угленосных отложений и метанообильность горных выработок шахт зависят не только от степени метаморфизма углей. Важным является особенность геолого-структурных условий, в которых находится угольный бассейн. Наличие очень значительных запасов метана на Угловском угольном бассейне Приморского края на месторождениях Артемовском и Тавричанском позволяет отнести их к нетрадиционному источнику добычи метана.

Углегазовые сланцы. Фактически это разновидность сланцевых газов. Отличие состоит в том, что источником углеводородных газов и нефти являются некондиционные угленосные породы с пластами угля небольшой мощности и угленосные аргиллиты. При

определенных условиях - температуры, давления, катализаторах образуются жидкие и газообразные углеводороды. Такая установка УП-48 сделана Куликовым Н.А. в Приморье.

Биогаз. Образование биогаза рассмотрим на примере его изучения на свалке твердых бытовых отходов (ТБО) Горностаи Приморского края. На полигоне складировались все виды бытовых отходов, в том числе химических производств. Через определенное время отходы частично возгорались, частично под действием тепла и микробов выделяли свалочные газы. В составе газов были метан (до 40-60 %), углекислый газ (10-20 %), сернистые газы, угарный газ CO и другие газы. В перспективе, очищенный биогаз может быть использован в различных областях народного хозяйства

Сланцевый газ и плотные коллектора. Многие специалисты – нефтяники относят их к категории некондиционных традиционных нефтегазовых месторождений. Разработка современными способами извлечения нефти и газа из них с использованием гидроразрыва и химических реагентов позволяет извлекать углеводороды из сланцев и коллекторов с низкой проницаемостью. Выше я отмечал, что эти нетрадиционные источники углеводородов взаимосвязаны с традиционными залежами. Это две стороны одного процесса формирования нефтегазовых месторождений.

ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРАТОНОСНОСТИ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ РОССИИ

Перлова Е.В., Леонов С.А.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 142717, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия
E_Perlova@vniigaz.gazprom.ru

Одной из наиболее перспективных возможностей увеличения ресурсной базы является поиск, разведка и разработка скоплений природных газогидратов.

Полученный в настоящее время фактический материал позволяет судить о перспективах газогидратных скоплений на территории России, оценить прогнозные ресурсы гидратного газа, как в континентальных, так и субаквальных условиях.

На суше, на территории России основные ресурсы газогидратного газа, связаны с нефтегазоносными провинциями (НГП), расположенными в областях распространения многолетнемерзлых пород – Тимано-Печорской, Западно-Сибирской НГП и с нефтегазоносными провинциями Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Субаквальные газогидратные скопления России, как в арктическом и дальневосточном секторах, так и южные моря, также обладают значительным потенциалом для промышленного использования. Прогнозные ресурсы гидратного газа в Баренцевом и Карском морях значительны, однако крайне неравномерно распределены по площади и сосредоточены в нескольких глубоководных впадинах.

Дальневосточный регион Российской Федерации – Берингово и Охотское моря – обладают значительной потенциальной гидратоносностью, что связано с их благоприятной термобарической и геохимической обстановкой. Области распространения зоны стабильности гидратов метана значительных мощностей здесь занимают обширные территории.

В докладе рассмотрены перспективы гидратоносности основных осадочных бассейнов России и даны последние оценки прогнозных ресурсов гидратного газа.

МИКРОБНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

¹Пименов Н.В., ²Калмычков Г.В., ³Земская Т.И.

¹Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, Россия

²Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

³Лимнологический Институт СО РАН, Иркутск, Россия

npimenov@mail.ru

Проведены исследования содержания метана (СМ) и скорости его окисления (СМО) в газонасыщенных и газогидрат-содержащих осадках района «Посольская банка», грязевых вулканов в Кукуйском каньоне, зоны нефтепроявления Среднего Байкала (Горевой утес) и вулкана «Большой» в Южном Байкале. Осадки большинства исследованных станций характеризовались резким нарастанием СМ при углублении в осадочную толщу. Профиль распределения СМО, как правило, характеризовался двумя максимумами. Первый максимум располагался в поверхностных окисленных и слабовосстановленных осадках до глубины 10-15 см и, по-видимому, определялся активностью сообщества метанотрофных бактерий (МБ), которые разными методами ранее были выявлены в поверхностных осадках многих районов оз. Байкал (Дагурова и др. 2004; Zemskaya et al, 2010; Kadnikov et al, 2012; Ломакина и др., 2014). Активность сообщества МБ напрямую зависела от СМ в поверхностных осадках (0-3 см). Если СМ не превышала 1 мкмоль дм⁻³, то максимальные величины СМО варьировали от 0,15 до 0,8 мкмоль дм⁻³ сут⁻¹). При СМ менее 45 мкмоль дм⁻³ СМО достигали значений 2-4 мкмоль дм⁻³ сут⁻¹, при СМ более 45-90 мкмоль дм⁻³ выявлены наибольшие СМО (район Посольская банка - 40 мкмоль дм⁻³ сут⁻¹ и зона нефтепроявления - 60 мкмоль дм⁻³ сут⁻¹). Второй максимум СМО обычно был приурочен к горизонтам, находящимся непосредственно над слоем появления газогидратов. Причем следует отметить, что наибольшие скорости анаэробного процесса окисления метана (АОМ) наблюдались в осадках, где газогидратсодержащие горизонты были наиболее приближены к поверхности. Не ясным остается вопрос о том, какие микроорганизмы осуществляют процесс АОМ. На наш взгляд, наиболее правдоподобной представляется версия о метаногенных сообществах, которые в условиях избытка метана могут осуществлять процесс его анаэробного окисления. Исследования СМО свидетельствуют о том, что метанотрофные микроорганизмы осадочных отложений оз. Байкал играют важнейшую барьерную функцию, значительно снижая поток метана в водную толщу, и активно вовлекают этот газ в биогеохимический круговорот углерода.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН 23, проект 23.8.

ПОВЫШЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОРОВЫХ ВОД, ГРАНИЧАЩИХ С ГИДРАТАМИ ОСАДКОВ – СВИДЕТЕЛЬСТВО СОВРЕМЕННОСТИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ?

Погодаева Т.В., Земская Т.И.
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия
tatyana@lin.irk.ru

Возраст газовых гидратов в скоплениях в их естественном залегании в зависимости от механизма образования и условий нахождения предполагается по разным источникам как современный, так и составляющий десятки тысяч и миллионы лет.

Проведенные нами исследования приповерхностных скоплений газовых гидратов в районах грязевых вулканов и сипов оз. Байкал обнаружили во многих случаях повышенную (на 30-50%) минерализацию поровых вод, граничащих с гидратами осадков. Подобное явление возникает при миграции молекул воды из осадка к фронту гидратообразования. Рассчитанное нами время выравнивания концентраций в граничащих поровых водах до средних по керну значений по всем ионам не превышает одного месяца. Вероятно ли, что данное время отражает время образования данных гидратов?

Образование приповерхностных скоплений гидрата зависит от поступления снизу газонасыщенного флюида, его интенсивности. Известно, что местоположение факелов и их интенсивность время от времени меняется, создавая динамичную обстановку образования-разложения газовых гидратов в приповерхностных осадках.

Таким образом, вероятно, анализ гидрохимических данных может способствовать оценке возраста гидратов, определяя процесс изученных скоплений как современный и достаточно быстрый.

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН № 82 и Программой Президиума РАН № 23.8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГИДРАТОВ МЕТАН-ПРОПАНОВОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА РАВНОВЕСНЫЕ УСЛОВИЯ ИХ РАЗЛОЖЕНИЯ

Семенов А.П., Якушев В.С., Михайлов С.Б., Винокуров В.А.

Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия
semyonovanton@mail.ru; yak_you@mail.ru

Получение уточненных данных о равновесных условиях гидратообразования газовых смесей различного состава является важной научно-технической задачей. С точки зрения фундаментальной науки эти данные необходимы для определения параметров термодинамических моделей газогидратной фазы. С прикладной точки зрения данные о равновесных условиях гидратообразования требуются для оценки расхода термодинамических ингибиторов при добыче и транспортировке углеводородного сырья. Образование гидратов из газовых смесей является более сложным процессом, чем гидратообразование индивидуальных газов из-за разделения и изменения состава газовой смеси, приводящих к образованию смеси гидратов различного состава. В данной работе мы исследовали влияние начальной степени переохлаждения на равновесные условия разложения гидратов модельной газовой смеси 95,7 % CH₄ + 4,3 % C₃H₈ (% мол.). Исследование проводили с использованием лабораторной установки Sapphire Rocking Cell RCS6. Для обеспечения высокой степени превращения воды в гидрат в качестве жидкой фазы использовали 0,1 % мас. раствор додецилсульфата натрия. Получение гидратов проводили при температуре 1 °С и давлении 30 – 120 бар. Для разложения полученные образцы гидратов нагревали со скоростью 0,2 °С/ч.

Анализ полученных кривых разложения свидетельствует о том, что при гидратообразовании газовой смеси 95,7 % CH₄ + 4,3 % C₃H₈ в зависимости от начальных условий образуются как смешанные метан-пропановые гидраты различного состава, так и гидрат метана. С ростом начальной степени переохлаждения при гидратообразовании возрастает доля образовавшегося гидрата CH₄. Кривая равновесных условий гидраторазложения имеет для газовой смеси не просто экспоненциальный характер, как предполагалось ранее, а более сложную конфигурацию. Полученные нами данные свидетельствуют о множественности равновесных условий гидраторазложения газовых смесей в зависимости от степени переохлаждения при гидратообразовании.

ДВОЙНОЙ ГИДРАТ ИЗОПРОПАНОЛА И МЕТАНА

Сизиков А.А., Манаков А.Ю.

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
aasizikov88@gmail.com

С помощью методов термоволюметрии и рентгеновской порошковой дифрактометрии были изучены состав и структура двойного гидрата изопропанола и метана, синтезированного из растворов изопропанола с концентрациями от 6,2 до 17,9 масс. %. Было установлено, что двойной гидрат имеет кубическую структуру II во всем диапазоне концентраций исходных растворов. При температуре 1°C и давлении метана 5,2 МПа состав двойного гидрата с максимальным содержанием метана соответствует $4.5\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}\cdot 17.0\text{CH}_4\cdot 136\text{H}_2\text{O}$. При помощи спектроскопии комбинационного рассеяния света было показано, что молекулы метана занимают и большие, и малые полости гидратного каркаса. Также изучена равновесная кривая этого гидрата в диапазоне температур от -20 до +7°C. При температурах выше 0°C температура разложения двойного гидрата только на 1-2°C выше, чем у чистого гидрата метана. В то же время при температурах ниже 0°C температуры разложения двойного гидрата значительно выше по сравнению с гидратом метана. Например, при 2 МПа гидрат метана разлагается при -8,1°C, в то время как двойной гидрат - при -1,4°C. При более низких давлениях разница увеличивается.

Опираясь на результаты данной работы, можно предположить, что изопропанол является перспективным гидратобразующим компонентом, который может быть использован в процессах разделения газовых смесей при температурах ниже 0°C.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ №14.В25.31.0030 (ведущий ученый У. Kawazoe, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН).

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРАТОВ МЕТАНА В ПОРАХ ПРИРОДНОГО УГЛЯ

^{1,3}Смирнов В.Г., ²Манаков А.Ю., ¹Дырдин В.В., ^{1,3}Исмагилов З.Р., ³Лырщиков С.Ю.

¹Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт углехимии и химического материаловедения КеМНЦ СО РАН, Кемерово, Россия
smirnovvg@mail.ru

В процессе геологического метаморфизма угольного вещества образуется большое количество газообразных углеводородов, в основном метан. Количество метана, образующегося при формировании одной тонны каменного угля, измеряется (при нормальных условиях) сотнями кубических метров. Метан занимает свободное поровое пространство угля, сорбируется на стенках пор, растворяется в твердом веществе угля. В некоторых угольных пластах возникают термодинамические условия, соответствующие условиям стабильного существования газогидратов метана.

В настоящей работе мы представляем результаты лабораторных исследований по образованию газогидратов метана в порах природного угля. Мы разработали установку и определили термодинамические условия образования газогидратов в порах угольной матрицы при влажности, соответствующей термину «воздушно-сухой уголь». Показано, что в пористой структуре природного угля при влажности, соответствующей термину «воздушно-сухой уголь», гидраты метана могут образовываться, хотя на кривых дифференциально-сканирующей калориметрии эффекты замерзания и плавления воды в таких образцах не обнаруживаются. Термодинамические условия разложения гидратов метана в порах угля близки к точкам фазового равновесия.

САМОКОНСЕРВАЦИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В НЕФТЯНЫХ СУСПЕНЗИЯХ

¹Стопорев А.С., ¹Манаков А.Ю., ²Алтунина Л.К., ²Богословский А.В., ^{1,3}Полухов Д.М.

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

³Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ),

Новосибирск, Россия

stopor89@bk.ru

На сегодняшний день гидратообразование в эмульсиях воды в нефти является одним из важнейших направлений газогидратных исследований [1, 2]. Анализ доступных работ показывает, что их подавляющее большинство было выполнено при небольших положительных температурах. Образование и в особенности разложение нефтяных суспензий газовых гидратов при температурах ниже 0 °С до настоящего времени практически не исследованы. Вместе с тем хорошо известно, что именно в этом диапазоне температур проявляется интересное и важное для практических приложений явление самоконсервации газовых гидратов, которое состоит в резком (на много порядков) торможении реакции разложения гидрата коркой образующегося на его поверхности льда [3]. Наиболее известным из практических приложений самоконсервации является ее использование при газогидратной транспортировке природного газа [4].

В данной работе изучен процесс разложения нефтяных суспензий газовых гидратов метана, этана, пропана и их смеси. Описано проявление эффективной самоконсервации гидратов в рассматриваемых системах и намечены пути их модификации с целью контроля процесса разложения.

Нами были получены суспензии гидратов рассматриваемых газов в нефтях различных месторождений и изучены процессы, происходящие при их оттаивании. Экспериментальная процедура описана в работе [5]. Показано, что эффективная самоконсервация мелких частиц гидрата скорее всего обеспечивается наличием на их поверхности сорбированного слоя тяжелых гидрофобно – гидрофильных компонентов нефти.

Исследования поддержаны Междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН № 19 (2012-2014).

1. Dendy Sloan, Carolyn A. Koh, and Amadeu K. Sum. Hydrate flow assurance state-of-the-art // Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011). July 17-21, 2011. – Edinburgh, Scotland, UK.
2. Amadeu K. Sum, Carolyn A. Koh, E. Dendy Sloan. Developing a Comprehensive Understanding and Model of Hydrate in Multiphase Flow: From Laboratory Measurements to Field Applications // Energy & Fuels. 2012, 26, p. 4046–4052.
3. Якушев В.С. Экспериментальное изучение кинетики диссоциации гидрата метана при отрицательных температурах // ЭИ ВНИИ Газпрома. Сер. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. 1988, 4, с. 11–14.
4. Kiyoshi Horiguchi, Shigeru Watanabe, Hidenori Moriya, Satoo Nakai. Completion of natural gas hydrate (NGH) overland transportation demo project // Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011), Edinburgh, Scotland, United Kingdom, July 17-21, 2011.
5. Stoporev A.S., Manakov A.Yu., Altunina L.K., Bogoslovsky A.V. Self – preservation behaviour of methane hydrate particles in oil suspensions // Mendeleev commun. -2012. – N 22. – P.336 – 337.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ДВОЙНЫХ ГИДРАТОВ N₂-CO₂

¹Субботин О.С., ¹Жданов Р.К., ¹Адамова Т.П., ¹Белослудов В.Р.,
²Белослудов Р.В., ³Кавазоэ Й.

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan*

³*New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Japan*

subbot@niic.nsc.ru

Проведено теоретическое исследование фазовых диаграмм при образовании гидратов для различных составов смесей азот - углекислый газ.

Определены условия фазовых равновесий для различных концентраций азота в газовой фазе. Расчеты проводились при температурах, приближенных к реально существующим в области морского шельфа (до +5 градусов Цельсия). Проведено сравнение с фазовой диаграммой гидрата метана. Найдена область сосуществования гидратов азот - углекислый газ и гидрат метана. Все расчёты выполнены методом Решёточной Динамики на базе программ, созданных в ИНХ СО РАН.

Работа выполнена при поддержке гранта No 14.B25.31.0030 и гранта No4 программы 8 президиума РАН. Авторы также благодарны суперкомпьютерному центру НИТАСНИ 1600, Сендаи, Япония, за представленную возможность проводить вычисления.

1. Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan
2. New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Sendai, Japan

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА И ИЗУЧЕНИЯ БАЙКАЛЬСКИХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Хлыстов О.М.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

oleg@lin.irk.ru

С момента обнаружения на Байкале первых приповерхностных скоплений газовых гидратов в 2000 г. обнаружено 28 мест подобных скоплений на его дне. 19 из них связаны с грязевыми вулканами, 8 - с сипами, 1- с покмарком. 12 мест приурочено к дельтовым отложениям рек Селенга и Голоустная, 9 находятся в центральных частях южной или средней впадин озера вдоль зоны разломов, выраженных в рельефе дна. Остальные расположены в прибортовых зонах этих же впадин, на границе склона и абиссальной равнины, в зоне стабильности гидрата, где по геофизическим данным также прослеживаются разломы. Таким образом, дальнейший поиск приповерхностных гидратов следует продолжить вблизи подобных тектонических нарушений, а также в зонах дельтовых отложений крупных рек всех котловин, включая северную впадину. Необходимо активизировать поиски в южной котловине напротив рек хребта Хамар-Дабан. Дельты этих рек прослежены на 15 км в глубину озера и под частью этих дельт захоронены олигоцен-миоценовые километровые угленосные и битуминозные толщи танхойской свиты. Такой тип отложений перспективен для формирования в этой части Байкала еще одного крупного района газо- и гидратосодержащих донных отложений в верхней части геологического разреза.

На Байкале установлено, что внешне образцы газовых гидратов не отличаются друг от друга из разных газовыводящих структур. В грязевых вулканах и сипах встречаются как монолитные и слоистые гидраты метана структуры 1 разной мощности и ориентировки, так и грануловидные гидраты структуры 2, образованные за счет более 10% примеси термогенного этана к биогенному метану. В лабораторных условиях подробно изучен их состав и строение. В районе 3 активных сипов выполнены визуальные наблюдения обнажений слоев газовых гидратов на границе «вода-дно» с помощью ГОА «МИР», там же проведен ряд экспериментов по формированию, растворению и разложению газовых гидратов в пресной воде, и выполнена пилотная добыча газа из газовых гидратов. Для дальнейшего развития методов поиска газовых гидратов и технологий их добычи требуется продолжить изучение физико-механических, акустических и других свойств, особенно, приповерхностных газовых гидратов. Это изучение должно уже вестись *in situ* с применением современного оборудования и визуального контроля, как с помощью подводных аппаратов разного класса, так и в скважинах. Подобные работы проще и дешевле вести на имеющихся всесторонне изученных полигонах озера Байкал, где известна глубина, площадь распространения и тип газового гидрата. Одну из таких скважин в недалеком будущем можно пробурить в зоне ми-

нимальной глубины залегания BSR и максимального распространения гидратов по площади, т.е. в районе полигона «Голоустное». Весьма актуальными для озера является исследования влияния зон разгрузок газосодержащих флюидов на геохимические обстановки и биологические сообщества в разных типах газовыводящих структур, а также на геоморфологию дна и разломную тектонику этих районов.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Цой А.Н., Накоряков В.Е., Мезенцев И.В., Мелешкин А.В.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

nakve@itp.nsc.ru

Ранее в Институте теплофизики СО РАН была предложена и запатентована технология по ударно-волновому способу получения газогидратов (патент РФ №2405740). Источником ударных волн служит импульс давления, который получается за счет разрыва диафрагмы в камере высокого давления. Достоинствами данного способа является существенная (на порядок и более) интенсификация процесса образования гидратов газов (соответственно и процесса разделения и утилизации газов). Это обусловлено значительным увеличением межфазной поверхности и уменьшением размера газовых включений из-за дробления пузырьков

в волне, а также перевода газа в газогидратное состояние на высокоскоростной (кинетической) стадии роста газогидрата, минуя более медленную, диффузионную стадию.

Можно предложить другой метод получения газогидратов, основанный на оригинальном изобретении (патент РФ №2405740), существенно более простой и дешевый. При этом дополнительных внешних источников импульсного давления не требуется. Здесь мощным средством генерации импульсов давления являются пульсирующие (колеблющиеся) газовые и паровые пузырьки, которые, как известно, могут генерировать мощные импульсы давления, разрушающие даже сталь. Для инициации пульсаций пузырьков необходимо придать границе раздела значительную начальную скорость, например, микровзрывом. Для этих целей как раз и подходят капли жидкого метана, которые при быстром нагреве могут нагреваться до температур близких к температуре предельного перегрева - спинодали. Такой нагрев приводит к взрывному вскипанию части жидкого метана и разгону границы газовой полости. Явления взрывного вскипания подтверждаются прямыми экспериментальными измерениями. Максимальное давление, которое было зарегистрировано нами при взрывном вскипании жидкого азота (как модельной жидкости), инжесктированного в воду, составило 53 бар. При этом скорость нарастания давления была равна 567 бар/с. Эти результаты получены в рамках работ по программе разработки новых методов получения газогидратов метана, основанных на ударно-волновом способе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ №11.G34.31.0046 и гранта РФФИ 12-08-00973-а.

НЕКОТОРЫЕ ИДЕИ ПО РАЗВИТИЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОГИДРАТОВ

Якушев В.С.

Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия
vyakushev@hotmail.com

Многолетние наблюдения за развитием экспериментальных исследований газогидратов в мире показали, что очень много времени экспериментаторами тратится на повторение и перепроверку исследований друг друга. В итоге по одному и тому же виду экспериментальных исследований на протяжении ряда лет выходит множество статей, в которых подтверждается или уточняется уже известное явление или процесс. Между тем, новых, прорывных экспериментальных исследований насчитывается не так уж и много. В этой связи предлагается рассмотреть возможность постановки таких исследований в различных центрах России в соответствии с их экспериментальным оборудованием и опытом.

Это такие исследования как:

1. Влияние скорости потока газа на подвижность воды в порах различных коллекторов с разлагающимся гидратом метана.
2. Выведение метанофильных организмов, разлагающих гидрат.
3. Изменение состава гидрата по разрезу ЗСГ при фильтрации газа снизу (сипы).
4. Изменение условий гидратообразования газов сложного состава в ходе разработки газовых и газоконденсатных месторождений.
5. Консервация гидрата водорода гидратами других газов.
6. Фазовые превращения вещества гидратов при супервысоких давлениях и температурах.
7. Влияние ультразвуковых излучений на стабильность гидратов.
8. Влияние электромагнитных излучений (видимый спектр) на стабильность гидратов.
9. Кинетика роста гидрата метана на поверхностях различных материалов.
10. Методика выращивания монолитных образцов гидрата метана по пленочному механизму.
11. Выращивание гидрата метана из тающего льда.

ТЕЗИСЫ СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ *изо-, н-ПРОПАНОЛ-ВОДА*

Аладко Л.С., Манаков А.Ю., Огиенко А.Г.

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
aladko@niic.nsc.ru

Среди клатратных гидратов наиболее полно изучены газовые гидраты, полигидраты солей ЧАО, гидраты некоторых аминов и ряда других соединений. Менее исследованы полигидраты низших спиртов. Возможно, это связано с тем, что образование соединений здесь происходит с большим переохлаждением, наблюдается стеклование растворов, медленно устанавливается равновесие. Известно небольшое количество работ по изучению фазовых диаграмм систем низший спирт – вода, при этом данные, полученные разными авторами, нередко отличаются друг от друга.

В настоящей работе методами дифференциально-термического анализа и порошковой рентгеновской дифракции детально исследованы системы *изо-пропанол – вода* и *н-пропанол – вода*. В системе с *изопропиловым* спиртом четко проявились три группы термических эффектов при -30.6 , -38.8 и -49.6 °С, которые можно рассматривать как перитектические линии разложения трех гидратов. Составы гидратов, установленные методом построения треугольника Таммана, были близки к мольному отношению 1:5 (*изопропанол* : *вода*). Данные порошковой дифракции показали наличие двух разновидностей полигидратов, один из которых метастабилен. Соединение с т.пл. -49.6 °С скорее всего имеет кубическую структуру I газгидратов. Наиболее вероятной причиной появления группы эффектов при -38.8 °С является образование метастабильной кристаллической модификации этой же структуры с тем же самым составом и очень близкими параметрами элементарной ячейки. Относительно второго соединения (т.пл. -30.6 °С) можно сделать предположение о слоистом характере его кристаллического каркаса.

На фазовой диаграмме системы *н-пропанол – вода* также обнаружено три соединения, плавящихся перитектически при -60 , -53.5 и -41.5 °С. Составы первых двух близки к 5, а последнего – к 2. В то же время данные порошковой рентгеновской дифракции указывают на существование в системе только одного соединения с кубической структурой I газгидратов. Можно предположить, что в системе образуются несколько гидратов, относящихся к одному структурному типу, но отличающихся по составу.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗОНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТНЫХ СКОПЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ВАШУТИНСКО-ТАЛОТИНСКОГО НАДВИГА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Вахнин М.Г.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
oilkominc@mail.ru

На территории севера Тимано-Печорской провинции (ТПП) широко распространены зоны многолетнемерзлых пород. В районах вечной мерзлоты газогидраты могут образовываться на глубинах, начиная от 130 метров от поверхности в зависимости от термобарических условий. До данных глубин распространяются зоны вечной мерзлоты в ТПП. На севере Тимано-Печорской провинции криолитозона сформировалась в плейстоцене, когда большая часть территории представляла морской бассейн. В настоящее время территорию криолитозоны ТПП можно разделить на несколько зон. Первая зона расположена в северной части региона и проходит немного севернее Нарьян-Мара и по линии Хорейвер-Воркута, и характеризуется мощностью до 300–500 метров, при температуре от -1 до -3 градусов. Многолетняя мерзлота имеет характер морского и ледниково-морского генезиса. В следующих зонах криолитозона отличается островным характером, её мощность уменьшается и не превышает 50–100 метров при температуре от 0 до -3 градусов. Для участков с пониженными формами рельефа и на районах пойм рек характерно уменьшение мощности криолитозоны или она отсутствует.

В районах глубинных разломов находятся зоны повышенной проницаемости земной коры и повышенной миграции углеводородов по тектоническими нарушениям. Одним из таких районов в ТПП является Вашутинско-Талотинский надвиг. В районе Вашутинско-Талотинского разлома, в прилегающей к материковой части акватории в 70 км северо-западнее острова Матвеева, на глубине 60–75 м обнаружена аномально мощная для Печорского моря многолетняя мерзлота и интенсивное приповерхностное газопроявление. В данном районе наблюдается повышенная неотектоническая активность, причиной которой служит влияние со стороны Предпайхойского краевого прогиба. Вследствие этого фиксируется увеличение плотности линеаментов, построенных с помощью космических снимков Landsat-7, оно может являться причиной повышенной миграции углеводородов и образования газогидратных скоплений. Мощность четвертичных отложений колеблется в пределах 150–250 м, затем залегают мезозойские отложения. Криогенная толща может служить экраном для миграции углеводородов. На северо-востоке ТПП газовых залежей не обнаружено, в данном районе наблюдается пониженное гидростатическое давление, что, вероятно, способствовало дегазации залежей и возможно последующему формированию газогидратных толщ в криолитозоне.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ГИДРАТОВ ВОДОРОДА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ДАВЛЕНИЙ

^{1,2}Жданов Р.К., ^{1,2}Белослудов В.Р., ^{1,2}Субботин О.С.

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия
rav@niic.nsc.ru

В 1999 группой Дядина было обнаружено необычное поведение системы вода–водород в диапазоне температур 263–283 К и давлений 100–360 МПа. Ими было сделано предположение, что при этих условиях происходит образование клатратных гидратов водорода. Дальнейшее изучение этой системы подтвердило образование клатратной фазы гидратов на основе кубической структуры II (КС-II). Из-за того что клатратные гидраты способны содержать в себе до 5 массовых % водорода, гидраты можно рассматривать как потенциальный контейнер для хранения водорода.

Для расчетов термодинамических свойств, а также состава гидратов был использован подход, разработанный в нашей группе. С его помощью была рассчитана фазовая р–Т диаграмма системы вода-водород в широком интервале температур и давлений. При этом учитывалась возможность кратного заполнения полостей гидрата молекулами водорода. Допускалось присутствие до двух молекул водорода в малых и до четырех молекул в больших полостях. Для гидратов на основе льдов (льда Ih, льда II и льда Ic) допускалось только однократное заполнение. Неидеальность газовой фазы описывалась неидеальным газом Ван-дер-Ваальса.

Используя выбранный подход, была рассчитана проекция фазовой р–Т диаграммы системы вода–водород для диапазона температур 200–290 К. Рассчитанные результаты находятся в хорошем согласии с известными экспериментальными данными. Расчет находится в пределах экспериментальной ошибки. Однако для давлений свыше 420 МПа расхождение рассчитанных линии равновесия с газовой фазой достигает 4 градусов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ №14.В25.31.0030 (ведущий ученый У. Kawazoe, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН).

КОНСЕРВАЦИЯ ГИДРАТА ФРЕОНА-12 МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЛЬДОМ

Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Нестеров А.Н., Решетников А.М.
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия
zag-2-57@yandex.ru

Для создания эффективных условий консервации газогидратов с помощью корки льда, образованной на их поверхности [1], актуальна задача улучшения экранирующих и защитных свойств этого слоя льда.

С этой целью в P - V - T экспериментах нами исследована консервация газогидрата фреона-12 в области отрицательных температур модифицированным льдом, полученным в результате замерзания водных растворов органических полимеров при -23 °С.

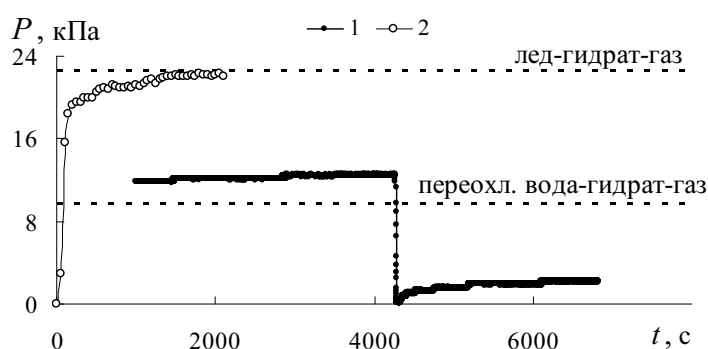


Рис. Поведение газогидрата фреона-12 при различных отклонениях по давлению от линии равновесия «лед-гидрат-газ» при температуре -7 °С.
1 – консервация гидрата коркой модифицированного льда толщиной 1,2 мм;
2 – диссоциация гидрата при отсутствии корки льда.

Значительное замедление процесса диссоциации гидрата на лед и газ при давлениях ниже линии равновесия «лед-гидрат-газ» зафиксировано при минимальной толщине защитной корки льда равной 0,5 мм. Получено, что в области температур от -23 °С до $-0,7$ °С гидрат относительно устойчиво существовал под коркой льда даже после резкого сброса давления до нуля (Рис.). Наблюдаемый при этом незначительный рост давления свидетельствует о частичном разложении гидрата, скорость которого лимитируется диффузией молекул фреона через слой льда. Интенсивная диссоциация исследуемого гидрата отмечена только при температурах выше $-0,7$ °С. Предполагаем, что это связано с разрушением защитной ледяной корки вследствие разрыхления льда вблизи 0 °С.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2017 годы (приоритетное направление VIII.77.2.), научного проекта РФФИ №14-08-31627 мол_а, междисциплинарного проекта № 144 СО РАН и Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5).

1. Истомин В.А., Якушев В.С., Махонина Н.А., Квон В.Г., Чувилин Е.М. Эффект самоконсервации газовых гидратов//Газовая промышленность. Спецвыпуск «Газовые гидраты». -2006.- С.36-46.

РАСТВОРИМОСТЬ ГЕЛИЯ ВО ЛЬДУ I_h ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 2000 БАР

Ильдяков А.В., Манаков А. Ю., Аладко Е.Я., Косяков В.И., Шестаков В.А.
Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

Проведены экспериментальные и расчетные исследования растворимости гелия во льду I_h. Получены три независимых набора данных по растворимости гелия во льду I_h. (1) Экспериментально измерена растворимость при -1 °С и давлениях менее 120 бар. (2) Из разности температур плавления чистого льда I_h и льда I_h, находящегося под давлением гелия, рассчитана растворимость гелия в диапазоне давлений 700-2000 бар. Температуры здесь соответствовали температурам плавления насыщенного гелием льда при соответствующих давлениях. (3) В тех же P-T условиях растворимость гелия во льду I_h была рассчитана методом термодинамического моделирования. Сравнение полученных результатов показало, что во всех трех случаях результаты мало отличаются, т.е. предложенная расчетная методика корректна, а результаты расчетов находятся в хорошем соответствии с экспериментально полученными значениями. Проверенная таким образом расчетная методика использована для составления таблицы растворимости гелия во льду I_h при давлениях до 2000 бар и температурах 0 – -50 °С. Таким образом впервые представлены надежные данные по растворимости гелия во льду I_h для широкого диапазона температур и давлений. Показано, что результаты расчетов находятся в хорошем соответствии с данными, полученными в эксперименте.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ № 14.В25.31.0030 (ведущий ученый Y. Kawazoe, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН).

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГИДРАТА КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА НАПРАВЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Калачева Л.П., Федорова А.Ф.

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

lpko@mail.ru

Исследование механохимических превращений углеводородов в водной среде были проведены в двух системах: «природный газ–вода» и «гидрат природного газа». Система «гидрат природного газа» в отличие от системы «природный газ–вода» представляет собой твердое кристаллическое соединение, в котором молекулы углеводородов, образующих гидрат, размещены в полостях кристаллической решетки воды и удерживаются в них силами ван-дер-Ваальса. Анализ состава продуктов механореакций системы «природный газ–вода» показал, что образуются 3 фазы продуктов: газообразная, водная и твердая. А в результате механоактивации (МА) гидратов природного газа выделены 4 фазы продуктов: газообразная, водная, органическая и твердая. В органической фазе в зависимости от состава гидратов и времени механической обработки обнаружены: циклогексан, н-гептан, 1,2-диметилциклопентан, 1-метил-3-пропилбензол и бутилбензол. В водной фазе обнаружены кислородсодержащие органические соединения: низшие одноосновные карбоновые кислоты и одноатомные спирты [1]. Экспериментальными исследованиями установлено протекание ранее неизвестных химических превращений углеводородов при интенсивной обработке системы «гидрат природного газ» в отличие от системы «природный газ–вода». Следовательно, именно наличие водного клатратного каркаса в газовых гидратах является причиной протекания химических превращений низших алканов с образованием углеводородов с длиной цепи большей, чем у исходных углеводородов-гидратообразователей. Состав продуктов, полученных механоактивацией гидратов природного газа, вполне соответствует предложенной ранее схеме радикально-цепных реакций углеводородов. Таким образом, образование клатратного соединения углеводородов и воды с сочетанием водородных и ван-дер-Ваальсовых связей могут изменить направления известных химических превращений легких углеводородов при механической обработке.

1. Калачева Л.П. Исследование механохимических превращений гидратов природного газа/Л.П. Калачева, Е.Ю. Шиц, А.Ф. Федорова//Нефтехимия, 2009.-Т. 49.-№4.-С. 310-314.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КУПОЛА-СЕПАРАТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СБОРА НЕФТЕПРОДУКТОВ В ШЕЛЬФЕ

Кильдибаева С.Р.
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
Стерлитамак, Россия
freya.13@mail.ru

Проблема разработки месторождений в шельфе напрямую связана с уменьшением запасов углеводородного сырья на суше и практически нетронутыми залежами в шельфе [1]. При добыче углеводородов в шельфе немаловажную роль играет создание устройства, предназначенного обеспечить устранение утечек в случае аварии. Один из способов предотвращения аварии в Мексиканском заливе – установка железобетонного купола непосредственно над местом утечки. Конструкция оказалась недолговечной – внутри накапливались гидраты, что не позволило зафиксировать купол на дне для дальнейшей эксплуатации.

Согласно предлагаемой схеме, к месту утечки углеводородов опускается купол, имеющий цилиндрическую форму, оснащенный трубками для откачки смеси и газа. Для предотвращения попадания внутрь купола газовых гидратов, купол наполняется теплым дизелем. Материал купола – полиуретан, предназначен для уменьшения потерь тепла через стенки купола. Пусть на дне водоема имеется источник утечки углеводородов (нефть и газ). Известны значения объемного расхода нефти и газа, вытекающих из устья скважины, теплофизические параметры окружающей воды, нефти и газа.

На первом этапе купол зафиксирован на такой высоте z_1 , что пузырьки газа покрываются газогидратной коркой. Внутри купола проникает нефть, которая смешиваясь с дизелем, образует смесь. Газогидратные частицы не попадают внутрь купола, вследствие более высокой плотности дизеля (а впоследствии смеси). На втором этапе купол фиксируется на высоте z_2 , после чего внутрь купола начинают проникать пузырьки газа, образуя слой газа у верхней стенки купола. На третьем этапе купол опускается и фиксируется на дне, включаются трубки для откачки газа и смеси.

Получены зависимости концентрации нефти в смеси, координаты раздела слоев газа и смеси, температур смеси и газа от времени.

1. Дмитриевский А.Н., Белонин М.Д. Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов российского шельфа // Природа. 2004. № 9.

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГИДРАТА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ С СИЛИКАТНЫМИ МИНЕРАЛАМИ

Корякина В.В., Калачева Л.П.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
kvladilina@mail.ru

Ранее в лаборатории были проведены экспериментальные исследования по изучению процесса механической активации гидратов природного газа, которые подтвердили принципиальную возможность химических превращений основных компонентов газогидратов – метана и воды [1]. Дальнейшие работы, представленные в данной работе, нацелены на изучение особенностей превращения гидратов газов в присутствии широко распространенных в природе минералов – кварца и цеолитовых туфов.

Установлено, что основная тенденция превращений при МА в присутствии кварца, сводится к деструкции основных компонентов газогидрата с образованием большого количества водорода. Иначе протекают процессы превращений в присутствии цеолита. Основные компоненты при МА газогидрата метан и этан не вовлекаются в процесс превращений, пропан расходуется в 1,7 раза, бутан в 2 раза, с образованием более тяжелых нормальных алканов C5-C7. Ранее аналогичный результат был получен для гидрата другого компонентного состава [2], в ходе чего были обнаружены алканы нормального строения состава C13-C14. Таким образом, основное направление превращений компонентов газогидратов при МА в присутствии цеолита – образование новых алканов нормального строения.

Таким образом, показано, что МА гидратов природного газа в присутствии силикатных минералов протекает по различным механизмам, что может быть использовано для целенаправленного механосинтеза.

1. Е.Ю. Шиц, О.И. Ломовский, А.Ф. Федорова, А.Ф. Сафронов, Л.П. Калачева. Химические превращения гидратов природного газа при механическом воздействии// ДАН, 2007.-Т. 412.-№3.-С.353-356.
2. В.В. Корякина, Л.П. Калачева. Природный цеолит как бифункциональный катализатор в механохимических превращениях гидратов природного газа//Технологии нефти и газа, №6, 2013. С.30-34.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВЫХОДЫ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОГИДРАТЫ НА ДНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Круглякова Р.П., Шевцова Н.Т.

ГНЦ ФГУПП «Южморгеология», Роснедра, Геленджик, Краснодарский край, Россия
kruglyakova@ymg.ru

На дне Черного моря закартированы точечные и площадные газопроявления. В экономической зоне России обнаружено 28 выходов нефти и газа. **Точечные газовые проявления** приурочены к подводным грязевым вулканам и глубинным тектоническим нарушениям. В период 1997÷2012 годы свыше 30 вулканов открыто в экономических водах России. В Туапсинском прогибе на трех вулканах – Манганари, Нефтяной, Периклинали – на дне моря обнаружена нефть. Это первое прямое нефтепроявление в Черном море, свидетельствующее о нефтегазоносности акватории. Изучены геохимические характеристики нефте- и газопроявлений. В осадках отмечается аномально высокое содержание метана (до 15 см³/кг) и его гомологов; нефтяных углеводородов (НУ=7947 мг/кг); полициклических ароматических углеводородов (ΣПАУ=333 нг/г). Источником ПАУ и УВ-флюидов в осадках является деятельность вулканов. На вулкане Долговского на валу Шатского на дне наблюдаются карбонатные корковые образования, микробиальные маты беловатого, розоватого и желтого цветов, что является косвенным признаком глубинного газового выхода.

Акустические образы **площадных газопроявлений** – газонасыщенные осадки, газовые грифоны (покмарки), газовые карманы, газовые купола в осадочной толще.

Газогидраты в приповерхностном слое осадка. Благоприятными термодинамическими условиями образования газогидратов является глубина моря от 725 м и глубже при температуре придонной воды 9°С. Источником образования и скопления газогидратов является катагенетический газ, поступающий по тектоническим и литологическим каналам, и биогенный метан. В Черном море в приповерхностном слое дна обнаружено более тридцати находок газогидратов. Первая находка газогидратов в российском секторе была в 2005 году в ходе работ МГУ на вулкане Нефтяной. Вторая находка газогидрата в 2012 г. была во время тестовых испытаний акустического комплекса «Клавесин -1Р» в Туапсинском прогибе в районе палеодолин рек Кубани и Дона.

Геоэкологические проблемы. Газогидраты относятся к метастабильным образованиям. Изменения температуры и давления могут вызвать процесс их разложения с высвобождением метана и воды (в 1 м³ газогидрата - 0,2 м³ газа и 0,8 м³ воды), что провоцирует подводные обвалы и крупномасштабные оползни. Крупные оползни в Черном море отмечаются в районе палеодолин Дона и Кубани.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ломакина А.В., Погодаева Т.В., Мамаева Е.В., Земская Т.И.
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия
lomakina@lin.irk.ru

На озере Байкал различными методами идентифицированы районы приповерхностных залегающих газовых гидратов, метановых и нефтяных сипов (De Batist et al., 2002; Klerkx et al., 2003; Khlystov, 2006; Granin et al., 2010; Конторович и др., 2007; Хлыстов и др., 2007; Манаков и др., 2013). В озере Байкал доказано наличие процессов аэробного окисления метана метанотрофными бактериями (Намсараев, Земская, 2000; Гайнутдинова и др., 2005; Земская и др., 2008). Полученные кривые распределения концентраций метана в донных осадках районов разгрузки газо-нефтеcодержащих флюидов говорят о возможности протекания и анаэробного процесса окисления метана (АОМ) (Егоров 2003). Поэтому актуальным вопросом для районов разгрузки углеводородов на озере Байкал остается установление группы бактерий, осуществляющих данный процесс и выявление возможного окислителя метана. Окислителями метана могут выступать ионы железа, нитрита, сульфата, марганца (Zehnder, Brock, 1980; 1989; Valentine, Reeburgh, 2000; Conrad, 2009). В районах метанового сипа

Посольская банка, грязевого вулкана Песчанка, нефтяных сипов Толстый и Горевой Утес, где были отмечены повышенные концентрации ионов аммония, железа, сульфат ионов (Pogodaeva et al., 2012; 2013), увеличивающиеся с глубиной и убыль метана, также исследовано разнообразие представителей бактерий филума *Planctomycetes* и домена *Archaea* как возможных окислителей метана. Среди архей в донных осадках исследованных районов детектированы представители *Thaumarchaeota*, участвующие в процессах окисления аммония и некультивируемые археи, выделенные из осадков, обогащенных железом (Stein et al., 2001). Однако, типичных для морских осадков архей групп ANME, участвующих в АОМ, обнаружено не было, что согласуется с данными, полученными для других районов разгрузки углеводородов на озере Байкал (Шубенкова и др., 2006; Zemskaaya et al., 2010; Kadnikov et al., 2012). Среди *Planctomycetes* в осадках озера Байкал были обнаружены последовательности группы ANAMMOX, осуществляющие процессы анаэробного окисления аммония при участии нитрита. Образовавшийся нитрит в качестве акцептора электронов, может быть также использован и для анаэробного окисления метана (Zhu et al., 2010).

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН 82, грантами РФФИ 12-04-31031 мол_а, 13-04-00209а.

СТРУКТУРЫ ГИДРАТОВ КЛАСТЕРОВ $[\{\text{Mo}_6\text{I}_8\}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]$

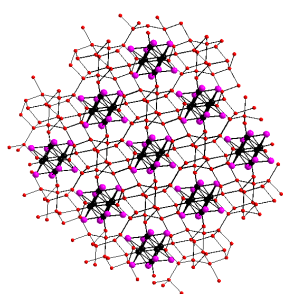
^{1,2}Лубнин И.М., ²Михайлов М.А., ²Абрамов П.А., ^{1,2}Соколов М.Н., ^{1,2}Комаров В.Ю.
¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ),
 Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
 lubnin.gosha@yandex.ru

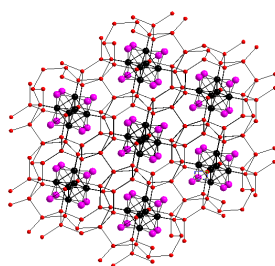
Водные каркасы хозяина обладают большой способностью адаптироваться к форме и размеру включенных молекул [1, 2]. Известны примеры образования водных соединений включения похожих на ГГ, но ими не являющиеся (ионные клатратные и полуклатратные гидраты). До настоящего момента кластерные комплексы как потенциальные гидратообразователи не рассматривались.

Шифр	Состав	$a, \text{Å} / \alpha, ^\circ$	$b, \text{Å} / \beta, ^\circ$	$c, \text{Å} / \gamma, ^\circ$	пр. гр.
1	$[\text{Mo}_6\text{I}_8(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9.6350(2)		43.55126(11)	$R-3c$
2	$[\text{Mo}_6\text{I}_8(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	15.6045(4)		11.3769(3)	$R-3m$
3	$[\text{Mo}_6\text{I}_8(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4] \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	9.3419(2) 89.4733(9)	9.4623(2) 83.6830(8)	10.0439(2) 82.5799(9)	$P-1$
4	не определен	11,846(4) 87.57(2)	12.674(3) 71.75(3)	12.940(4) 77.11(2)	—

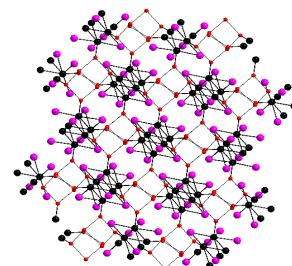
При исследовании кристаллических структур фаз (строение которых было установлено методом РСА), образующихся при гидролизе октаэдрического кластерного комплексного иона $[\text{Mo}_6\text{I}_{14}]^{2-}$ в присутствии боратного буфера (рН = 9.14), были получены кристаллы 1–4, отличающиеся количеством кристаллизационной воды. Молекулы воды в структурах 1–3 образуют каркасы и агломераты посредством водородных связей.



1



2



3

В докладе обсуждаются особенности формирования водных подсистем в исследованных структурах в зависимости от гидратных чисел. Топологическая близость каркаса 2 с каркасами хозяина ГГ позволяет надеяться на обнаружение смешанных гидратов и поиск потенциальных применений исследуемых соединений в ГГ технологиях.

1. Yu.A. Dyadin, K.A. Udachin, *J. Struct. Chem.*, 1987, **28**, 394.
2. G.A. Jeffrey, *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, 1996, **6** (23), 757.

БИОГЕННЫЕ ГАЗОГИДРАТЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ОЗЕРАХ БАЙКАЛ И ТЕЛЕЦКОЕ

Лужецкий В.Г.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Россия
lug@omzg.ssc.ru*

Для поиска газогидратов биогенного происхождения в осадках глубоководных озер геофизическим методом использовался высокоразрешающий геопрофилограф, разработанный в ИВМиМГ СО РАН. При интерпретации временных сейсмоакустических разрезов для определения присутствия в осадках газогидратов использовались следующие их признаки: большая амплитуда сигнала, отраженного от газогидратного слоя; экранирование отраженных сигналов нижележащих слоев; газонасыщенность и наличие каналов истечения газа; нарушение непрерывности газогидратоносных слоев.

При анализе временных разрезов профилей при глубинах воды 270–300 м были обнаружены газогидратные слои в поддонных осадках, расположенных на глубинах 35–45 м на Байкале и 12–15 м – Телецком озере. На обоих озерах газогидраты находятся в межледниковых слоях, сформировавшихся около 230 тыс. лет назад. Для датировки возраста был применен разработанный нами геофизический «бескерновый» метод, основанный на выявлении визуально на высокоразрешающих временных разрезах последовательности границ ледниково-межледниковых стадий, для датировки которых используются данные ледового керна антарктической скважины «Восток».

Расположение профилей для обоих озер показано на картах Google Earth. Приведены несколько временных разрезов, показывающих идентичность расположения газогидратных слоев на обоих озерах. Сегодня многие ставят под сомнение существование газогидратов на Телецком озере, в котором глубины не превышают 300 м. Считают, что при существующей ныне температуре донных осадков, не выполняются требования гидратообразования по термодинамическим условиям. Но они при этом забывают о том, что за прошедшее время были две ледниковые стадии, во время которых температура воды на дне была существенно ниже и термодинамические условия были достаточными для образования газогидратов, которые затем были законсервированы плотными донными ледниковыми отложениями.

ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТА ПРОПАНА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗЦА

^{1,2}Мадыгулов М.Ш., ¹Заводовский А.Г., ²Щипанов В.П.

¹Институт Криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

²Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия
marat747@gmail.com

Синтез гидрата пропана производили на основе гранул льда со средним размером частиц ~450 мкм. В качестве гидратообразующего газа использовали технический пропан (состав в масс. %: C₁-0.0165, C₂-1.2351, C₃-96.5817, iC₄-2,1196, nC₄-0.0471).

При циклическом изменении температуры образца в интервале от 276 К до 260 К с помощью метода ДТА получена характерная термограмма, состоящая из последовательности пиков кристаллизации и плавления не перешедших в гидрат воды и льда соответственно. При этом в процессе термоциклирования образца получены данные об изменении давления газа в реакторе.

Качественно о превращении водной фазы в гидрат судили по уменьшению площадей тепловых пиков и величине уменьшения давления газа за цикл. Оценка степени превращения исследуемого образца в гидрат выполнена по специально разработанной методике. По результатам эксперимента получено, что в течение первых двух циклов происходит интенсивное образование гидрата. Затем скорость роста гидрата заметно снижается по причине уменьшения доступа газа к фронту гидратообразования из-за образовавшейся гидратной корки. На завершающей стадии эксперимента степень гидратообразования образца увеличивалась практически с постоянной скоростью.

При сравнении интенсивностей роста гидратов фреона-12 и технического пропана, имеющих газогидратную структуру КС-II, установлено, что при прочих равных условиях газогидрат фреона-12 достигает максимальной степени превращения за меньшее число термоциклов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2017 годы (приоритетное направление VIII.77.2.), научного проекта РФФИ №14-08-31627 мол_а, междисциплинарного проекта №144 СО РАН, Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-3929.2014).

ПРОЯВЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ДИССОЦИИИ ФРЕОНОГИДРАТА-12

^{1,2}Мадыгулов М.Ш., ¹Заводовский А.Г., ²Щипанов В.П.

¹Институт Криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

²Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия
marat747@gmail.com

Методом ДТА исследована диссоциация фреоногидрата-12 в области температур ниже 273 К. Использовались образцы гидрата, полученные на основе мелкодисперсного льда со средним размером частиц 450 мкм и фреона-12. P , T -параметры диссоциации гидрата определяли в изотермических условиях при понижении давления газа с постоянной скоростью. Величину скорости варьировали от 0,5 до 2,5 кПа/мин. Момент начала диссоциации гидрата фиксировали по возрастанию ДТА сигнала – разности температур между эталоном и образцом.

Установлено, что при отсутствии в образцах гидрата кристаллов льда он диссоциировал на переохлажденную воду и газ непосредственно при пересечении линии метастабильного равновесия переохлажденная вода–гидрат–газ. В свою очередь, в образцах со льдом диссоциация гидрата на лед и газ наблюдалась на значительном удалении от линии фазового равновесия лед–гидрат–газ, что характерно для индукционных явлений.

Полученный набор экспериментальных данных свидетельствует о вероятностном характере данного процесса. По результатам экспериментов установлено, что величина отклонения давления диссоциации от линии равновесия лед–гидрат–газ зависит от температуры, скорости понижения давления и предыстории образца. Получено, что время ожидания начала распада гидрата уменьшается по мере удаления по давлению от линии равновесия лед–гидрат–газ.

Для фреоногидрата-12 определено положение нижней границы области проявления индукционных явлений при его диссоциации на лед и газ. Вполне возможно, что эта граница соответствует спинодальному распаду гидрата, о чем свидетельствует высокая скорость роста давления газа.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2017 годы (приоритетное направление VIII.77.2.), научного проекта РФФИ №14-08-31627 мол_а, междисциплинарного проекта №144 СО РАН и Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-3929.2014).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КВАДРУПОЛЬНОЙ ТОЧКИ ГИДРАТА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПЕРЕСЕЧЕНИЕМ РАВНОВЕСНОЙ ЛИНИИ И ЛИНИИ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА

Нестеров А.Н., Решетников А.М.
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия
ram-ikz@mail.ru

В данной работе представлен способ определения квадрупольной точки Q1 гидратов CO₂. Используя визуальные наблюдения и PVT измерения были получены экспериментальные данные для линий равновесия вода (лед)–гидрат–газ и вода–лед–газ. По пересечению этих линий была определена квадрупольная точка Q1.

В качестве объектов исследования использовались CO₂ и дистиллированная вода. Для изучения поведения образцов был выбран метод визуальных наблюдений с использованием оптической микроскопии. Дополнительно проводились измерения давления и температуры в исследуемой системе.

Как правило, квадрупольную точку гидратов определяют пересечением равновесных кривых лед–гидрат–газ и вода–гидрат–газ. При этом в литературе квадрупольная точка для CO₂ имеет некоторый разброс значений. Используя метод визуальных наблюдений нами была получена кривая зависимости температуры плавления льда от давления CO₂ вплоть до 270,75 К. Пересечение равновесной кривой гидратообразования и кривой плавления льда в зависимости от давления газа и позволило определить квадрупольную точку для гидратов CO₂.

Полученные экспериментальные данные позволили уточнить P,T координаты квадрупольной точки Q1 для гидратов CO₂. Согласно нашим данным координаты квадрупольной точки составляют P= 1,03 Мпа, T=271,65 К. Таким образом, CO₂ оказывает большее влияние на температуру плавления льда, вызывая понижение квадрупольной точки Q1, в отличие от других гидратообразующих углеводородов. Вследствие этого диссоциация гидратов CO₂ на воду и газ начинается с температуры 271,65 К, что на 1,5 К ниже температуры плавления льда.

КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТА МЕТАНА В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

*Нефёдов П.А., Джеджерова А.А., Долгаев С.И., Истомин В.А., Квон В.Г., Герасимов Ю.А.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 142717, п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., Россия
vlistomin@yandex.ru*

В последние годы лабораторные исследования кинетики образования и разложения гидратов природных газов получили практическую значимость в связи с проектами освоения природных газогидратных залежей, гидратной транспортировки и хранения природного газа, а также с разработкой новых ингибиторов гидратообразования. Актуальность кинетических исследований гидратообразования в засолённых водных растворах обусловлена перспективами освоения новых месторождений, для которых характерна высокая минерализация остаточной влаги в коллекторе, определяющая условия и кинетику гидратообразования в призабойной зоне пласта, стволах скважин, а также в системах промыслового сбора газа.

В работе проводится изучение кинетики образования гидратов метана из водных растворов с различной минерализацией, моделирующих условия новых газоконденсатных месторождений Восточной Сибири. С этой целью создан экспериментальный комплекс с измерением количества газа (метана), связывающегося в гидрат в режиме реального времени и визуализацией процесса образования гидрата в объёме газожидкостного реактора. Кинетика синтеза гидратов исследуется в условиях автоматического поддержания заданных по условиям эксперимента термобарических параметров. Разработана методика определения кинетических констант реакции гидратообразования из метана и минерализованной воды. Определены основные закономерности влияния активности воды в водных растворах солей на кинетику образования гидрата метана. На основании полученных кинетических данных предложена математическая модель образования гидратов в водных растворах электролитов и проведена оценка ее адекватности методами математической статистики.

ОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ МИКРОБНЫМ СООБЩЕСТВОМ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЙКАЛ

¹Павлова О.Н., ¹Букин С.В., ²Калмычков Г.В., ¹Иванов В.Г.,

¹Хабуев А.В., ¹Погодаева Т.В., ¹Земская Т.И.

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

pavlova@lin.irk.ru

В низкотемпературных условиях эксперимента исследованы процессы образования углеводородных газов микробным сообществом донных осадков района метанового сипа «Посольская Банка» (Средний Байкал). В накопительных культурах выявлено образование не только метана, но и более тяжелого углеводородного газа – этана. Процесс образования биогенного этана не так широко описан в научной литературе, как метаногенез. Тем не менее, в ряде публикаций на основании изотопного состава углерода этана приводятся данные, подтверждающие его биогенное происхождение [Oremland R.S., 1981; Belay, Daniels, 1987; Oremland et al., 1988; Hinrichs et al., 2006; Katz, 2011].

Для получения накопительных культур анаэробных микроорганизмов в экспедиционных условиях был произведен посев образцов донных осадков на бикарбонатную среду Пфеннига [Pfennig, 1965] с добавлением различных субстратов. После длительной экспозиции (около 3-х месяцев при температуре +4°C) в накопительных культурах были зафиксированы различные концентрации метана и этана. Наибольшая концентрация метана выявлена во флаконах, соответствующих 55 см слоя осадка. Объемная доля метана, образовавшегося по ацетокластическому пути, составляла 95,6 об.%, этана – 0,34 об.%; по гидрогенотрофному пути – 99,7 об.% метана и 0,023 об.% этана. В поверхностном слое осадка, концентрация метана в газовой фазе не превышала 2 об.%, этана – 0,01 об.%.

С глубиной осадка наблюдалось снижение активности ацетокластических метаногенов и увеличивалась объемная доля образовавшегося метана за счет гидрогенотрофных архей. В этих же слоях отмечено интенсивное образование этана. Так, в микробном сообществе окологидратных и гидратных слоев осадка, доля этана в газовой фазе достигала 0,7 об.%.

В результате проведенного филогенетического анализа в составе накопительной культуры содержащей осадки с глубины 100 см, где отмечалось интенсивное образование этана, выявлены представители филумов *Crenarchaeota* и *Euryarchaeota*. Большинство выявленных последовательностей были сходны с некультивируемыми археями с неизвестным метаболизмом. Морфология клеток микроорганизмов в исследуемой культуре соответствовала отмечаемой для представителей р. *Methanosaeta*. Согласно данным Кадникова В.В. с соавторами, нуклеотидные последовательности байкальских представителей рода *Methanosaeta*,

наряду с другими представителями семейства *Methanosarcinales* в структуре микробного сообщества донных осадков озера в районе залегания газовых гидратов образуют отдельный уникальный кластер, названный авторами Baikal 1–8 [Kadnikov at al., 2012] и имеют низкий процент сходства с известными представителями семейства *Methanosarcinales*.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 82.

ТЕРМОТОЛЕРАНТНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОЗ. БАЙКАЛ, ПРИУРОЧЕННЫХ К ЗОНАМ РАЗЛОМОВ

¹Павлова О.Н., ¹Букин С.В., ²Манаков А.Ю., ³Москвин В.И.,
¹Ломакина А.В., ⁴Морозов И.В., ¹Земская Т.И.

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия

⁴Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН,
Новосибирск, Россия
sergeibukin@lin.irk.ru

Зоны выхода глубинных флюидов, насыщенных газами, углеводородами и другими соединениями в различных районах мирового океана рассматриваются как «окна» между верхней частью литосферы и биосферой Земли и считаются перспективными для поиска новых видов микроорганизмов с неизвестным метаболизмом [Edwards et al., 2012].

С целью выявления в поверхностных слоях байкальских осадков жизнеспособных термотолерантных микроорганизмов, появление которых может быть следствием их миграции по зонам разломов на поверхность дна озера вместе с образованным в нижних слоях осадочных отложений газосодержащим флюидом, проведены эксперименты по культивированию глубинной микрофлоры донных осадков района метанового сипа «Посольская Банка» (Средний Байкал). Культивирование осуществлялось при температуре +80°C, давлении 49.5 атм в атмосфере метана, субстратах – диатомовые водоросли оз. Байкал, ацетат натрия и без добавок.

Филогенетический анализ суммарной ДНК, выделенной из образцов осадков сразу после завершения экспериментов, показал наличие нуклеотидных последовательностей относимых к филумам *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes* классам α -, β -, γ -*Proteobacteria*, а также уникальных клонов, филогенетический статус которых в настоящее время остается не определенным. Наличие в экспериментальных образцах представителей домена *Archaea*, выявляемых в нативном осадке, отмечено не было.

Подтверждено присутствие в осадке после культивирования при 80°C жизнеспособных микроорганизмов. В анаэробных условиях, на питательной среде при температуре +60°C получена накопительная культура, в которой, с помощью молекулярно-генетических методов, также выявлены представители домена *Bacteria*.

При культивировании с добавлением мортмассы водоросли *Synedra acus* было зафиксировано образование полициклического ароматического углеводорода – ретена, продукта дегидрирования дитерпеноида – фихтелита. Это свидетельствует о преобразовании органического вещества природным микробным сообществом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 82, проекта РФФИ 13-04-00 209.

ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГИДРАТСОДЕРЖАЩИХ ОБРАЗЦОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

¹Пермяков М.Е., ¹Дучков А.Д., ²Манаков А.Ю.

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия

PermyakovME@ipgg.nsc.ru;

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
manakov@niic.nsc.ru

Коллективом сотрудников ИНГГ и ИНХ СО РАН изготовлена лабораторная установка, позволяющая моделировать гидратсодержащие образцы и измерять их электрическое сопротивление. Основным блоком установки является стальная цилиндрическая камера высокого давления (до 10 МПа), снабженная различным дополнительным оборудованием. Для измерения электрического сопротивления образцов использовалась специальная измерительная система, включающая четырёхэлектродный зонд (AMNB), размещенный в центре камеры. Во время измерений через образец пропускается синусоидальный электрический сигнал амплитудой около 1 В и частотой 600 Гц. В 2012-2013 гг. проведено порядка 50 экспериментов длительностью от двух часов до нескольких суток. В ходе экспериментов отработывались методики моделирования гидратсодержащих образцов и измерения их электросопротивления. Гидратсодержащие образцы моделировались из матриц разного минерального состава (песок, ил), молотого льда и газа (CH₄, CO₂), а также водного раствора тетрагидрофурана (C₄H₈O). Применение вместо газа водного раствора тетрагидрофурана существенно упрощает работу. К тому же в данном случае гидраты формируются из водного раствора, то есть в обстановке, наиболее приближенной к реальной. Методика измерений сначала отработывалась при изучении электросопротивления водонасыщенных песков в процессе их замерзания и оттаивания (лед и газогидраты являются диэлектриками). Затем выполнены первые измерения электросопротивления образцов, содержащих гидраты газов и тетрагидрофурана. Результаты измерений представлены в докладе. Они показывают, что созданная лабораторная установка в целом подготовлена для проведения экспериментов по моделированию гидратсодержащих образцов и измерению их электросопротивления.

Исследования поддержаны Междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН №19 (2012-2014 гг.) и проектом РФФИ № 12-05-00415-а.

МЕХАНИЗМЫ ДИССОЦИИАЦИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ «СУХОЙ ВОДЫ», ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

¹Поденко Л.С., ^{1,2}Нестеров А.Н., ¹Драчук А.О., ¹Молокитина Н.С., ¹Решетников А.М.

¹Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

²Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия

lpodenko@ikz.ru

Приводятся результаты изучения диссоциации гидратов пропана, полученных из «сухой воды», в которых непрореагировавшая вода содержится в виде включений льда или жидкой воды в переохлаждённом (метастабильном) состоянии ниже температуры 273 К и давлениях ниже равновесного давления лёд - гидрат - газ. Для получения гидратов реактор с замороженной «сухой водой» вакуумировали и заправляли газом до давления 400 кПа. Гидратообразование начиналось через несколько минут после заправки реактора пропаном. Оно проходило в изохорных условиях, сопровождаясь падением давления в реакторе. Степень превращения воды в гидрат (масса воды в гидрате/начальная масса воды в образце) для образцов, полученных из замороженной «сухой воды» варьировала от 0.6 до 0.85. Для гидратов, которые содержали бы непрореагировавшую воду в форме жидкой фазы, полученные из замороженной «сухой воды» образцы гидратов изохорно нагревали до 274 К и выдерживали в течение 3 часов. За это время непрореагировавший лёд плавился, и в реакторе устанавливались стационарные значения давления и температуры. Для перехода исследуемой системы в область неравновесных состояний гидратов использовалась одна из двух стандартных процедур: (1) изохорное нагревание; (2) изотермическое понижение давления в реакторе ниже давления равновесия лёд - гидрат - газ. В результате проведённых исследований установлено, что механизм диссоциации газовых гидратов при отрицательных температурах зависит от фазового состояния непрореагировавшей воды. При наличии включений льда гидраты диссоциируют на лёд и газ. Гидрат пропана, полученный из «сухой воды» и содержащий включения непрореагировавшей воды в переохлаждённом состоянии ниже температуры 273 К (но не содержащий лёд), диссоциирует на переохлаждённую воду и газ при давлении ниже давления метастабильного равновесия переохлажденная вода - гидрат - газ.

Работа поддержана Советом по грантам Президента Российской Федерации (НШ-3929.2014.5) и интеграционным проектом СО РАН №144.

СИНТЕЗ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВМЕЩАЮЩЕЙ ПОРОДЫ

Портнягин А.С.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
al220282@mail.ru

Целью исследований являлось создание установки, получение образцов гидратов природного газа в естественных придонных осадках в объемной камере-реакторе высокого давления.

В разработанной, под руководством член.-корр. РАН, д.г.-м.н. Сафроновым А.Ф. установке, проведен эксперимент по синтезу гидратов природного газа в естественных придонных осадках моря Лаптевых. Суть эксперимента заключалась в следующем: Навеску породы массой 2,4 кг помещали в камеру высокого давления (ВД), после чего его насыщали пресной водой, объем воды составил 700 мл, что составляет 30% от массы навески образца породы. В закрытую камеру, через перфорированную трубку проходящую через образец породы, подавался природный газ до достижения значения давления равного 8 МПа. Далее, камеру высокого давления помещали в инкубатор – холодильник, в котором задавалась, а затем автоматически поддерживалась температура $0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. С целью увеличения газонасыщенности образца породы, по истечении 2-х часов с начала охлаждения газ из камеры стравливали до 0,8 МПа и затем вновь поднимали давление газа в камере до 8 МПа. Через сутки эту же процедуру повторяли. Общая продолжительность эксперимента составила 72 часа, после его завершения камеру вскрывали.

Гидратообразование фиксировалось по падению давления в камере ВД. Наблюдения показали, что в течении первых 3 часов происходит резкое падение давления обусловленное снижением температуры в камере, далее давление падало с интенсивностью 0,18 МПа/час, до тех пор, пока вся свободная вода в камере не перешла в гидрат, что по времени занимает около 30 часов. Далее, наблюдается плавное снижение давления, обусловленное вялотекущим гидратонакоплением за счет вовлечения в процесс гидратообразования капиллярной воды, более прочно удерживаемой в породе.

При вскрытии камеры визуально было зафиксировано следующее: значительное накопление гидрата обнаружено между стенками камеры и образца породы. Образец породы представляет собой смерзшийся монолит грунта с расположенными по всей площади образца белыми прожилками и вкраплениями, которые пронизывают весь его объем. При визуальном исследовании видно, что газовый гидрат занимает значительную часть порового пространства, однако заполняет образец неравномерно. В центральной части образца находится сплошное газогидратное тело, толщиной ~ 1см.

Установлено, что газосодержание гидратов образованных в образце породы составляет 50% от теоретически возможного, тогда как газосодержание гидратов на поверхности образца составляет 70-80%.

Таким образом, экспериментально установлено, что газовые гидраты природного газа в объеме порового пространства образуются и накапливаются не равномерно, а преимущественно в путях фильтрации газа через образец, при этом составляя гидратные прожилки толщиной 0,5-2 мм. На наш взгляд это доказывает, что газогидратные линзы могут образовываться не только на границе раздела грунтов разной плотности, но и в толще однородных пористых пород. Также установлено, что газосодержание гидратов образованных в толще грунта меньше, чем у гидратов образованных на его поверхности.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНТАЛЬПИЙ ПЛАВЛЕНИЯ ИОННЫХ КЛАТРАТНЫХ ГИДРАТОВ ГАЛОГЕНИДОВ ТЕТРАБУТИЛАММОНИЯ

Родионова Т.В., Виллевалд Г.В., Карпова Т.Д.

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
tvr@niic.nsc.ru

Ионные клатратные гидраты являются соединениями включения, структурно родственными газовым гидратам. В кристаллических структурах ионных клатратных гидратов галогенидов тетрабутиламмония молекулы воды и анионы соли образуют посредством водородных связей водно-анионный полиэдрический каркас (гидрофильная гидратация), в полости которого включаются гидрофобные группы тетрабутиламмониевого катиона (гидрофобная гидратация). В настоящее время эти соединения привлекают внимание исследователей как перспективные для хранения и транспортировки газов (метан, водород, углекислый газ), разделения газовых смесей, энергосбережения («аккумуляторы холода»). Одним из важных параметров, определяющих возможность практического использования этих соединений, являются теплоты плавления.

Синтезированы ионные клатратные гидраты, образующиеся в системах $(C_4H_9)_4NF^-$, $(C_4H_9)_4NCl^-$, $(C_4H_9)_4NBr^- - H_2O$, определены их составы, температуры плавления, методом дифференциальной сканирующей калориметрии измерены энтальпии плавления. Проведены термодинамические расчеты энтальпий образования гидратов бромиды тетрабутиламмония из соли и воды. Проанализировано влияние аниона на термодинамические параметры в изученном ряду систем.

Стехиометрия	Т пл., °С	$\Delta H_{пл.}$, кДж/моль гидрата (кДж/моль H_2O)
$(C_4H_9)_4NF \cdot (32.8 \pm 0.4) H_2O$	27.2	204.8 \pm 2.3 (6.24)
$(C_4H_9)_4NF \cdot (29.7 \pm 0.4) H_2O$	27.7	177.5 \pm 3.1 (5.98)
$(C_4H_9)_4NCl \cdot (32.2 \pm 0.4) H_2O$	15.0	179.1 \pm 4.9 (5.56)
$(C_4H_9)_4NCl \cdot (29.7 \pm 0.4) H_2O$	15.1	156.9 \pm 2.1 (5.28)
$(C_4H_9)_4NCl \cdot (24.8 \pm 0.3) H_2O$	14.9	127.9 \pm 3.6 (5.16)
$(C_4H_9)_4NBr \cdot (38.1 \pm 0.3) H_2O$	9.5	219.4 \pm 3.9 (5.76)
$(C_4H_9)_4NBr \cdot (32.5 \pm 0.4) H_2O$	12.0	179.1 \pm 4.0 (5.51)
$(C_4H_9)_4NBr \cdot (26.4 \pm 0.6) H_2O$	12.0	150.7 \pm 2.6 (5.71)

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ ГАЗОГИДРАТНЫХ ПУЗЫРЬКОВ В УСЛОВИЯХ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Русинов А.А., Чиглинцева А.С., Сайниев В.Ф., Шепелькевич О.А.

Бирский филиал Башкирского государственного университета, Бирск, Башкортостан, Россия
irtysh2009@mail.ru

Согласно наблюдениям, известно, что в Мировом океане происходят непрерывные выбросы метана, которые составляют порядка несколько сотен тонн [1]. В частности, исследования, проведенные на Сахалинском склоне Охотского моря, показали, что выходы метановых пузырьков со дна моря сопровождаются образованием гидрата на их поверхности [2, 3]. Это связано с тем, что в процессе всплытия пузырьков к поверхности океана, в зависимости от глубины, могут реализоваться термобарические условия для образования или же последующего разложения гидратной оболочки [4, 5]. Если учесть, что средняя температура глубинных вод океана составляет порядка четырех градусов [5], то условия образования и стабильности гидрата для метана реализуются на глубинах свыше 400 м. Поэтому в случаях, когда источники газа находятся ниже такой глубины, дальнейшая миграция пузырьков должна сопровождаться образованием гидрата.

В работе предложена теоретическая модель процесса миграции метановых пузырьков в воде при условиях образования гидрата. Горизонтальное дно является равномерно распределенным по плоскости источником газа. Такая схема предполагает, что расстояния между соседними источниками газа значительно меньше линейных размеров всей площади дна, с которого идет поток газа.

Изучена особенность эволюции полей температур, скорости миграции, а также распределения радиуса и объемного содержания систем газогидратных пузырьков. Показано, что при фиксированном массовом расходе газа со дна водоема устанавливается квазистационарная картина в виде волны типа «ступенька» для параметров всплывающей газогидратной дисперсной системы. В зависимости от соотношения между исходной плотностью газа и средней плотностью газа в составе гидрата конечный радиус гидратных частиц может быть больше или наоборот меньше начальных радиусов газовых пузырьков. Установлено, что скорость всплытия газогидратных включений снижается более чем в три раза вследствие увеличения их массы из-за гидратообразования.

Анализировано влияние глубины дна, являющегося источником газового потока, на динамику процесса гидратообразования. Установлено, что ее уменьшение приводит к замедлению темпа образования гидратных включений. Это связано с тем, что интенсивность теплопередачи между гидратной поверхностью пузыря и водой снижается, что обусловлено уменьшением равновесной температуры образования гидрата.

1. *Sautera E.J. et al.* Methane discharge from a deep-sea submarine mud volcano into the upper water column by gas hydrate-coated methane bubbles // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. № 243(3-4). pp. 354-365.
2. *Gumerov N.A., Chahine G.L.* Dynamics of bubbles in conditions of gas hydrate formation // *Fluid Dynamics*. 1992. № 5. pp. 664-669.
3. *Luo Y.-T., Zhuo J.-H., Fanb S.-S., Chena G.-J.* Study on the kinetics of hydrate formation in a bubble column // *Chemical Engineering Science*. 2007. № 62. pp. 1000 – 1009.
4. *Maksimov A.O., Sosedko E.V.* Dynamics of sea bubbles covered by a hydrate skin // XVI Session of the Russian Acoustical Society Moscow, November 14-18, 2005. pp. 459-462.
5. *Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н.* Переход глубоководных метановых пузырей в твердые гидратные формы // Препринт ИПМех РАН №1038. 2013. 34 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Семенов М.Е., Шиц Е.Ю., Калачева Л.П.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
xotoy_82@mail.ru

Интенсивность роста и морфология гидратов зависят от многих факторов, таких как состав газа и водного раствора, давления и температуры, скорости диффузии газа и воды к поверхности роста кристаллов и т.д. Целью нашего исследования являлось изучение процесса формирования гидратов метана и природного газа из различных растворов в статических условиях на поверхности различных материалов. Под статическим условием мы подразумеваем отсутствие внешнего механического воздействия на реакционную систему, то есть отсутствие перемешивания и дозправки камеры газом.

В работе изучен процесс образования и сравнение структуры гидратов, полученных в статических условиях при начальном давлении 5 МПа из дистиллированной воды, «вторичной» воды и раствора сульфонола с концентрацией 0,1 %, в том числе и в присутствии шероховатой гидрофильной металлической поверхности и гидрофобной гладкой полимерной поверхности.

Нативная морфология полученных газовых гидратов представлена разнообразием структур: это достаточно крупные (от 2-х до 5-ти см), плотные, непрозрачные массивные кристаллические образцы, тонкие разветвленные кристаллы - «нити», колонии радиально направленных перепутанных нитевидных кристаллов.

Также приведены новые данные по гидратообразованию в присутствии в камере высокого давления гидрофобного полимера, на примере политетрафторэтилена (ПТФЭ). Так в присутствии гидрофобной полимерной поверхности формирование и рост гидратов из «вторичной» воды ничуть не уступает гидратообразованию в присутствии шероховатой металлической поверхности.

Таким образом, исследован процесс гидратообразования из различных растворов в статических условиях на поверхности металлического и полимерного материала, и показано различие структуры синтезируемых газовых гидратов.

ГРУППОВОЙ СОСТАВ АДсорбЦИОННОГО СЛОЯ НЕФТИ НА ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛЬНОГО ГИДРАТА

¹Стрелец Л.А., ²Манаков А.Ю., ¹Богословский А.В., ¹Алтунина Л.К.

¹Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

Известно, что гидрат тетрагидрофурана (ТГФ) имеет тот же структурный тип, что и гидрат природного газа с большим содержанием пропана (кубическая структура II). Поскольку гидрат ТГФ*17H₂O может существовать при атмосферном давлении и температуре ниже 4.5°C, он часто используется в качестве модельного объекта в газогидратных исследованиях. В данной работе исследована адсорбция компонентов нефтей Ван-Еганского, Мамонтовского, Нижневартовского, Советского, Вахского и Герасимовского месторождений на поверхности частиц гидрата тетрагидрофурана.

Готовился раствор тетрагидрофурана в воде с мольным соотношением компонентов, соответствующему известному соотношению мольных количеств компонентов в гидрате ТГФ. Раствор замораживали и растирали в порошок при температуре жидкого азота. Нефть и порошок гидрата замешивали в «кашу» с объемным соотношением гидрата и нефти 1:1. Смесь выдерживали сутки при температуре 0°C для формирования адсорбционных слоев. Нефтяную компоненту отмывали петролейным эфиром при температуре 0 - -5°C, после чего расплавляли гидрат и экстрагировали адсорбированные компоненты бензолом. Оставшуюся органическую фазу анализировали стандартными методами и с помощью ИК-спектроскопии. Для всех нефтей наблюдается преимущественная сорбция асфальтенов и (в меньшей степени) смол, а также тяжелых n-алканов начиная с C₁₅. Концентрация асфальтенов в адсорбционном слое из нефтей Ван-Еганского и Вахского месторождений превосходит их содержание в исходных образцах более чем в 15 раз. Концентрация асфальтенов в адсорбционном слое из нефти Советского и Герасимовского месторождения больше их содержания в исходном образце примерно в 10 раз. Для нефтей Мамонтовского и Нижневартовского месторождений соответственно в 3.7 и 6.7 раза. Полученные данные подтверждают предположение, что получаемые в нефтяной матрице фрагменты твердого гидрата покрыты построенным из ее компонентов слоем, наличие которого может оказывать существенное влияние на свойства гидратной суспензии.

Работа поддержана Интеграционным проектом СО РАН №19.

ПРОДУВКА ПОРИСТОГО ПЛАСТА ГАЗОМ, СОПРОВОЖДАЮЩАЯСЯ ОБРАЗОВАНИЕМ ГАЗОГИДРАТА

¹Хасанов М.К., ¹Кильдибаева С.Р., ²Столповский М.В.

¹Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
Стерлитамак, Россия

²Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета,
Стерлитамак, Россия
hasanovmk@mail.ru

Проблемы и задачи образования газовых гидратов в настоящее время представляют значительный научный и практический интерес, что обусловлено перспективой использования газовых гидратов в различных областях промышленности. В частности, в целях уменьшения объема парниковых газов и их последующего безопасного захоронения рядом исследователей предлагается подземная газогидратная консервация данных газов, которая обеспечивает высокий уровень безопасности хранения и имеет небольшие энергетические затраты [1].

Рассмотрена модель образования газовых гидратов в пористой среде, которая в начальный момент времени насыщена газом и водой, при нагнетании холодного газа. Математическая модель строится на основе уравнений сохранения массы газа и притока тепла, закона Дарси и уравнения состояния идеального газа [2]. Численная реализация задачи связана с тем, что кроме нахождения полей давления и температуры, определению подлежат две неизвестные подвижные границы фазового перехода. По результатам численных расчетов можно сделать вывод о том, что с течением времени дальняя граница фазового перехода движется назад, навстречу ближней границе, т.е. в объемной области происходит частичное разложение гидрата. Это обусловлено конвективным сносом нагретого газа за счет образования газогидрата в более верхних слоях и его течения в объемной области. Кроме того показано, что при определенных параметрах нагнетаемого газа, возможна остановка границы гидратообразования.

Работа поддержана РФФИ (14-01-31089).

1. Jadhawar P., Mohammadi A.H., Yang J., Tohidi B. Subsurface carbon dioxide storage through clathrate hydrate formation // Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. Amsterdam: Springer, 2006. P. 111.
2. Шагапов В.Ш., Хасанов М.К., Гималтдинов И.К., Столповский М.В. Особенности разложения газовых гидратов в пористых средах при нагнетании теплого газа // Теплофизика и аэромеханика. 2013. Т. 20. № 3. С. 347-454.

УЧАСТНИКИ СОВЕЩАНИЯ

Абрамов Павел Александрович, к.х.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: abramov@niic.nsc.ru*

Адамова Татьяна Петровна, к.ф.-м.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: adamova@niic.nsc.ru*

Аладко Евгений Яковлевич, к.х.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090*

Аладко Людмила Степановна, к.х.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: aladko@niic.nsc.ru*

Алтунина Любовь Константиновна, д.т.н.

*Институт химии нефти СО РАН
пр. Академический, 4, Томск, 634021
e-mail: alk@ipc.tsc.ru*

Амелькин Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

*Тюменский филиал Института теоретической
и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН
ул. Таймырская, д.74, Тюмень
e-mail: amelkinsv@gmail.com*

Белослудов Владимир Романович, д.ф.-м.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: bel@niic.nsc.ru*

Белослудов Родион Владимирович, к.ф.-м.н.

*Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan
e-mail: rodion@imr.edu*

Блинов Вадим Васильевич, к.г.н.

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: bwad@lin.irk.ru*

Богданова Екатерина Геннадьевна

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: katerinazevak@gmail.com*

Богословский Андрей Владимирович, к.х.н.

*Институт химии нефти СО РАН
пр. Академический, 4, Томск, 634021
e-mail: bav@ipc.tsc.ru*

Букин Сергей Викторович

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: sergeibukin@lin.irk.ru*

Булейко Валерий Михайлович, д.т.н.

*«Центр исследования нефтегазовых систем и технологического моделирования»
ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: V_Buleiko@vniigaz.gazprom.ru*

Вахнин Михаил Геллерович, к.г.-м.н.

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
e-mail: oilkominc@mail.ru*

Верещагина Ольга Федоровна, к.г.-м.н.

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
ул. Балтийская, 43, Владивосток, 690041
e-mail: volga@poi.dvo.ru*

Виллевалд Галина Васильевна

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: villevald@mail.ru*

Винокуров Владимир Арнольдович, д.х.н.

*Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина
Ленинский проспект, 65, корпус 1, Москва, 119991
e-mail: vinok_ac@mail.ru*

Власов Валерий Александрович

*Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: vlasovfiz@mail.ru*

Герасимов Юрий Алексеевич

*«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: Yu_Gerasimov@vniigaz.gazprom.ru*

Гималтдинов Ильяс Кадирович, д.ф.-м.н.

*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
пр. Ленина, 37, Стерлитамак, 453100
e-mail: iljas_g@mail.ru*

Гнатовский Руслан Юрьевич

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: gnat@lin.irk.ru*

Гранин Николай Григорьевич, к.г.н.

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: nick@lin.irk.ru*

Грачев Евгений Владимирович, к.ф.-м.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: grachev@niic.nsc.ru*

Гресов А.П.

*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН
ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, 680063*

Григорьев Борис Афанасьевич, д.т.н., чл.-корр. РАН

*ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: B_Grigorjev@vniigaz.gazprom.ru*

Григорьев Евгений Борисович, д.т.н.

*«Центр исследований нефтегазовых пластовых систем и технологического моделирования» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: E_Grigorjev@vniigaz.gazprom.ru*

Джеджерова Анна Александровна

*«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: A_Djedjerova@vniigaz.gazprom.ru*

Долгаев Сергей Иванович, к.ф.-м.н.

*«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: S_Dolgaev@vniigaz.gazprom.ru*

Драчук Андрей Олегович

*Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: andrey0410@mail.ru*

Дучков Альберт Дмитриевич, д.г.-м.н.

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
пр. акад. Коптюга, 3, Новосибирск
e-mail: DuchkovAD@ipgg.nsc.ru*

Дучков Антон Альбертович, к.ф.-м.н.

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
пр. акад. Коптюга, 3, Новосибирск
e-mail: duchkovaa@ipgg.nsc.ru*

Дырдин Валерий Васильевич, д.т.н.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
ул. Весенняя, 28, г. Кемерово, 650000
e-mail: vvd1941@mail.ru*

Егоров Александр Владимирович, к.г.-м.н.

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва
e-mail: avegorov@ocean.ru*

Елистратов Сергей Львович, д.т.н.

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: elistratov@itp.nsc.ru*

Жданов Равиль Камильевич

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: rav@niic.nsc.ru*

Заводовский Алексей Геннадьевич, к.ф.-м.н.

*Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: zag-2-57@yandex.ru*

Земская Тамара Ивановна, д.б.н.

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: tzema@lin.irk.ru*

Иванов Вячеслав Геннадьевич, к.г.н.

*Лимнологический Институт СО РАН, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: vigo@lin.irk.ru*

Игошин Дмитрий Евгеньевич, к.ф.-м.н.

*Тюменский филиал Института теоретической
и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН
ул. Таймырская, д.74, Тюмень
e-mail: igoshinde@gmail.com*

Ильдяков Андрей Владимирович

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: lovewar1@rambler.ru*

Исмагилов Зинфер Ришатович, д.х.н., чл.-корр. РАН

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово;
Институт углехимии и химического материаловедения КемНЦ СО РАН
пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650000
e-mail: ismagilovzr@iccms.sbras.ru*

Истомин Владимир Александрович, д.х.н.

*«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: V_Istomin@vniigaz.gazprom.ru*

Кавазое Йошиюки, профессор

*New Industry Hatchery Center, Tohoku University, Japan
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: kawazoe@e-workshop.co.jp*

Калачева Людмила Петровна, к.х.н.

*Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская, д. 1, Якутск
e-mail: lpko@mail.ru*

Калмычков Геннадий Викторович, к.х.н.
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
ул. Фаворского, 1а, Иркутск
e-mail: gkalm@igc.irk.ru

Карпова Тамара Дмитриевна
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: karпова@niic.nsc.ru

Квон Валерий Герасимович, к.т.н.
«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: V_Kvon@vniigaz.gazprom.ru

Кильдибаева Светлана Рустамовна
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
пр. Ленина, 37, Стерлитамак, 453100
e-mail: freya.13@mail.ru

Кириллова Галина Леонтьевна, д.г.-м.н.
Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН
ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, 680063
e-mail: kirillova@itig.as.khb.ru

Козлов Владимир Васильевич
Институт динамики систем и теории управления СО РАН
ул. Лермонтова, 134, а/я 292, Иркутск, 664033
e-mail: boba50@mail.ru

Колесов Борис Алексеевич, д.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: kolesov@niic.nsc.ru

Комаров Владислав Юрьевич, к.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: komarov_v_y@ngs.ru

Корякина Владилена Владимировна
Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская, д.1, Якутск
e-mail: kvladilina@mail.ru

Косяков Виктор Иванович, к.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: kosyakov@niic.nsc.ru

Круглякова Роза Пантелеевна, к.г.-м.н.
ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», Роснедра
ул. Крымская, 18, Геленджик, Краснодарский край, 353461
e-mail: kruglyakova@ymg.ru

Кучер Константин Мирославович
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: kost@hlserver.lin.irk.ru

Леонов Сергей Анатольевич, к.г.-м.н.
«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: S_Leonov@vniigaz.gazprom.ru

Ломакина Анна Владимировна, к.б.н.
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: lomakina@lin.irk.ru

Лубнин Игорь Михайлович
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)
ул. Пирогова, д. 2, Новосибирск, 630090
e-mail: lubnin.gosha@yandex.ru

Лужецкий Виктор Григорьевич, к.ф.-м.н.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
пр. Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
e-mail: lug@omzg.sccc.ru

Лырщиков Сергей Юрьевич, к.х.н.
Институт углеродной и химического материаловедения КеМНЦ СО РАН
пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650000
e-mail: serstud@mail.ru

Мадыгулов Марат Шаукатович
Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: marat747@gmail.com

Макаров Михаил Михайлович
Лимнологический Институт СО РАН, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: mmmsoft@hlserver.kin.irk.ru

Мамаева Елена Васильевна
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: elena_m@lin.irk.ru

Манакон Андрей Юрьевич, д.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: manakov@niic.nsc.ru

Мезенцев Иван Владимирович, к.т.н.
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: mezn@itp.nsc.ru

Мелешкин Антон Викторович

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: mav@itp.nsc.ru*

Мизандронцев Игорь Борисович, д.г.н.

*Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: mizandr@lin.irk.ru*

Микляева Елена Сергеевна, к.г.-м.н.

*«Центр ресурсов и запасов углеводородов» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: E_Miklyaeva@vniigaz.gazprom.ru*

Мисюра Сергей Яковлевич, к.т.н.

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: misura@itp.nsc.ru*

Михайлов Максим Александрович

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: mikhajlov@niic.nsc.ru*

Михайлов Сергей Борисович

*Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина
Ленинский проспект, 65, корпус 1, Москва, 119991
e-mail: stopcable@mail.ru*

Молокитина Надежда Сергеевна

*Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: molokitina.nadya@yandex.ru*

Морозов Игорь Владимирович, к.х.н.

*Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН
пр. акад. Лаврентьева, 8, Новосибирск, 630090
e-mail: mor@niboch.nsc.ru*

Москвин Валерий Иванович, д.г.-м.н.

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
пр. акад. Коптюга, 3, Новосибирск*

Мусакаев Наиль Габсалямович, д.ф.-м.н.

*Тюменский филиал Института теоретической
и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН
ул. Таймырская, д.74, Тюмень
e-mail: musakaev@ikz.ru*

Муякшин Сергей Иванович, к.ф.-м.н.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород
e-mail: serg_mun@list.ru*

Накоряков Владимир Елиферьевич, д.т.н., академик РАН
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: nakve@itp.nsc.ru

Нестеров Анатолий Николаевич, д.х.н.
Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: nesterov@ikz.ru

Нефёдов Павел Андреевич,
«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: P_Nefedov@vniigaz.gazprom.ru

Нигматулин Роберт Искандерович, академик РАН
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, 36, Москва

Обжиров Анатолий Иванович, д.г.-м.н.
Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
ул. Балтийская, 43, Владивосток, 690041
e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru

Огиенко Андрей Геннадьевич, к.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: ogienko@niic.nsc.ru

Павлова Ольга Николаевна, к.б.н
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: pavlova@lin.irk.ru

Перлова Елена Владимировна, к.г.-м.н.
«Центр ресурсов и запасов углеводородов» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: E_Perlova@vniigaz.gazprom.ru

Пермяков Михаил Евгеньевич, к.г.-м.н.
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
пр. акад. Коптюга, 3, Новосибирск
e-mail: PermyakovME@ipgg.nsc.ru

Пименов Николай Викторович, д.б.н.
Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН
пр. 60-летия Октября, д. 7/2, Москва
e-mail: npimenov@mail.ru

Погодаева Татьяна Владимировна, к.г.-м.н.
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: tatyana@lin.irk.ru

Поденко Лев Степанович, к.ф.-м.н.
Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: lpodenko@ikz.ru

Подоксенов Андрей Васильевич

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)
ул. Пирогова, д.2, Новосибирск, 630090
e-mail: tamerlan0710@mail.ru*

Полухов Даниил Максимович

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090
e-mail: pol-daniil@yandex.ru*

Портнягин Альберт Серафимович

*Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская 1, Якутск, 677980
al220282@mail.ru*

Решетников Алексей Михайлович, к.т.н.

*Институт криосферы Земли СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
e-mail: ram-ikz@mail.ru*

Рожков Алексей Николаевич, д.ф.-м.н.

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
просп. Вернадского 101, корп. 1, Москва, 119526
e-mail: rozhkov@ipmnet.ru*

Родионова Татьяна Васильевна, к.х.н.

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: tvr@niic.nsc.ru*

Русинов Алексей Александрович

*Бирский филиал Башкирского государственного университета
ул. Интернациональная, 10, Бирск, 452453
e-mail: irtysh2009@mail.ru*

Сайниев Валерий Федорович

*Бирский филиал Башкирского государственного университета
ул. Интернациональная, 10, Бирск, 452453
e-mail: s-aler@bk.ru*

Семенов Антон Павлович, к.т.н.

*Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина
Ленинский проспект, 65, корпус 1, Москва, 119991
e-mail: semyonovanton@mail.ru*

Семенов Матвей Егорович

*Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская, д. 1, Якутск
e-mail: xotoy_82@mail.ru*

Сизиков Артем Александрович

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: aasizikov88@gmail.com*

Ситникова Татьяна Яковлевна, д.б.н.
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: sit@lin.irk.ru

Смирнов Вячеслав Геннадьевич
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
ул. Весенняя, 28, Кемерово, 650000
e-mail: smirnovvg@mail.ru

Соколов Максим Наильевич, д.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: caesar@niic.nsc.ru

Столповский Максим Владимирович, к.ф.-м.н.
Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета
ул. Химиков 21, Стерлитамак, 453102
e-mail: s_maxim.pmm@mail.ru

Стопорев Андрей Сергеевич
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: stopor89@bk.ru

Стрелец Лариса Анатольевна, к.х.н.
Институт химии нефти СО РАН
пр. Академический, 4, Томск, 634021
e-mail: lara@ipc.tsc.ru

Субботин Олег Сергеевич, к.ф.-м.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: subbot@niic.nsc.ru

Уразов Руслан Рубикович, к.ф.-м.н.
Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета
ул. Губкина, 26, Ишимбай, 453210
e-mail: UrazovR@yandex.ru

Фадеева Ирина Игоревна
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
пр. акад. Коптюга, 3, Новосибирск
e-mail: fadeevaii@ipgg.sbras.ru

Федорова Айталипа Федоровна, к.т.н.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская, д. 1, Якутск
e-mail: faitalina@mail.ru

Федулов Дмитрий Михайлович, к.т.н.
«Центр разработки газовых и нефтяных месторождений» ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
п. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 142717
e-mail: D_Fedulov@vniigaz.gazprom.ru

Хабуев Андрей Владимирович
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: shok@lin.irk.ru

Хасанов Марат Камилович, к.ф.-м.н.
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета
пр. Ленина, 37, Стерлитамак, 453100
e-mail: hasanovmk@mail.ru

Хачикубо Акихиро, профессор
Технологический институт г. Китамы, 165, Китамы, Коен-чо, 090-8507, Япония
e-mail: hachi@mail.kitami-it.ac.jp

Хлыстов Олег Михайлович
Лимнологический Институт СО РАН
ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278, Иркутск, 664033
e-mail: oleg@lin.irk.ru

Цой Александр Николаевич, к.ф.-м.н.
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090
e-mail: tsoialexei@ngs.ru

Чиглинцева Ангелина Сергеевна, к.ф.-м.н.
Бирский филиал Башкирского государственного университета
ул. Интернациональная, 10, Бирск, 452453
e-mail: changelina@rambler.ru

Шевцова Наталья Тимофеевна
ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», Роснедра
ул. Крымская, 18, Геленджик, Краснодарский край, 353461
e-mail: shevnata@mail.ru

Шепелькевич Олег Александрович
Бирский филиал Башкирского государственного университета
ул. Интернациональная, 10, Бирск, 452453
e-mail: oleg_rtl@mail.ru

Шестаков Владимир Алексеевич, к.х.н.
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
просп. акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090
e-mail: vsh@niic.nsc.ru

Шиц Елена Юрьевна, к.т.н.
Институт проблем нефти и газа СО РАН
ул. Октябрьская, д. 1, Якутск
e-mail: l.u.shitz@ipng.ysn.ru

Щипанов Владимир Павлович, д.х.н.
Тюменский государственный нефтегазовый университет
ул. Володарского, 36, Тюмень

Якушев Владимир Станиславович, д.г.-м.н.
Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина
Ленинский проспект, 65, корпус 1, Москва, 119991
e-mail: vyakushev@hotmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Программа конференции	7
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	15
Белослудов В.Р., Субботин О.С., Белослудов Р.В., Кавазое Й. Уравнение состояния и эффект самосохранения гидратов водорода	17
Богданова Е.Г., Огиенко А.Г., Аладко Е.Я., Аладко Л.С., Колесов Б.А., Манаков А.Ю. Исследование гидратообразования в системе тетрагидрофуран (ТГФ)–трет-бутиловый спирт (ТБС)–вода	18
Булейко В.М., Истомина В.А., Григорьев Б.А. Экспериментальное исследование фазового поведения системы вода–углеводороды в области стабильности гидратов	19
Булейко В.М., Истомина В.А., Григорьев Е.Б. Калориметрическое исследование процессов образования и разложения гидратов многокомпонентной газовой смеси, моделирующей природный газ газоконденсатных месторождений	22
Власов В.А., Драчук А.О., Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Молокитина Н.С., Нестеров А.Н., Поденко Л.С., Решетников А.Г. Метастабильные состояния газовых гидратов при отрицательных температурах: устойчивость и механизмы распада	23
Гималтдинов И.К., Кильдибаева С.Р., Хасанов М.К., Столповский М.В. Накопление газогидратной пены внутри купола под водой	24
Гранин Н. Г., Верещагина О.Ф., Козлов В.В., Обжиров А.И., Макаров М. М., Гнатовский Р. Ю., Иванов В.Г., Блинов В.В., Мизандронцев И.Б. Изменение концентрации метана в озере Байкал: возможная причина	25
Дучков А.А., Дучков А.Д., Фадеева И.И. Количественная оценка гидратосодержания в донных осадках (по результатам лабораторных измерений теплопроводности)	26
Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н. Наблюдения за образованием и разложением газовых гидратов с борта глубоководного обитаемого аппарата «Мир»	27
Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н. Температурные эффекты при образовании и разложении газовых гидратов в природных условиях	28
Земская Т.И., Ситникова Т.Я. Биологические сообщества глубоководной зоны озера Байкал, формирующиеся в зонах поступления углеводородов	29
Игошин Д.Е., Амелькин С.В. Самосборка пористых структур газовых гидратов	31

Истомин В.А., Федулов Д.М. Термодинамика образования газовых гидратов в призабойной зоне газовых и газоконденсатных скважин	32
Калачева Л.П. О возможности протекания радикальных реакций низших алканов при механоактивации гидратов природного газа	34
Калмычков Г.В., Хачикубо А., Егоров А.В., Хлыстов О.М. Геохимические характеристики метана гидратоносных структур (сипы, грязевые вулканы) озера Байкал	35
Кириллова Г.Л., Обжиров А.И., Гресов А.П. Газовые гидраты Буреинского бассейна (Дальний Восток)	36
Комаров В.Ю., Грачев Е.В., Подоксенов А.В. Моделирование структур клатратных гидратов	37
Макаров М.М., Муякшин С.И., Кучер К.М., Гнатовский Р.Ю., Гранин Н.Г. Извержения и нестационарность пузырьковых выходов газа на озере Байкал	38
Микляева Е.С., Перлова Е.В., Леонов С.А. Реликтовые газогидраты как осложняющий фактор освоения северных месторождений на фоне естественного потепления климата в арктических регионах	39
Мусакаев Н.Г., Уразов Р.Р. Численное исследование методов предотвращения гидратообразования в трубопроводах	40
Муякшин С.И., Макаров М.М., Гнатовский Р.Ю., Гранин Н.Г., Кучер К.М. Оценка пузырькового потока метана на озере Байкал акустическим методом	41
Накоряков В.Е., Елистратов С.Л., Мисюра С.Я. Особенности диссоциации газовых гидратов при тепловом воздействии	42
Обжиров А.И. Нетрадиционные ресурсы углеводородов и возможность их добычи	43
Перлова Е.В., Леонов С.А. Перспективы гидратоносности осадочных бассейнов России	45
Пименов Н.В., Калмычков Г.В., Земская Т.И. Микробные процессы окисления метана в осадочных отложениях озера Байкал	46
Погодаева Т.В., Земская Т.И. Повышенная минерализация поровых вод граничащих с гидратами осадков – свидетельство современности их образования?	47
Семенов А.П., Якушев В.С., Михайлов С.Б., Винокуров В.А. Исследование влияния степени переохлаждения при образовании гидратов метан-пропановой газовой смеси на равновесные условия их разложения	48
Сизиков А.А., Манаков А.Ю. Двойной гидрат изопропанола и метана	49

Смирнов В.Г., Манаков А.Ю., Дырдин В.В., Исмагилов З.Р., Лырщиков С.Ю. Лабораторные исследования образования и разложения гидратов метана в порых природного угля	50
Стопорев А.С., Манаков А.Ю., Алтунина Л.К., Богословский А.В., Полюхов Д.М. Самоконсервация газовых гидратов в нефтяных суспензиях	51
Субботин О.С., Жданов Р.К., Адамова Т.П., Белослудов В.Р., Белослудов Р.В., Кавазов И. Теоретическое исследование фазовых диаграмм двойных гидратов N₂-CO₂	52
Хлыстов О.М. Перспективы поиска и изучения байкальских газовых гидратов	53
Цой А.Н., Накоряков В.Е., Мезенцев И.В., Мелешкин А.В. Новые методы получения газогидратов	55
Якушев В.С. Некоторые идеи по развитию экспериментальных исследований газогидратов	56
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	57
Аладко Л.С., Манаков А.Ю., Огиенко А.Г. Гидратообразование в системах <i>изо-,н</i>-пропанол–вода	59
Вахнин М.Г. Потенциальные зоны образования газогидратных скоплений в районе Вашутинско-Талотинского надвига Тимано-Печорской провинции	60
Жданов Р. К., Белослудов В. Р., Субботин О. С. Численное моделирование фазовой диаграммы гидратов водорода в широком интервале давлений	61
Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Нестеров А.Н., Решетников А.М. Консервация гидрата фреона-12 модифицированным льдом	62
Ильдяков А.В., Манаков А.Ю., Аладко Е.Я., Косяков В.И., Шестаков В.А. Растворимость гелия во льду Ih при давлениях до 2000 бар	63
Калачева Л.П., Федорова А.Ф. Кристаллическая структура гидрата как фактор, влияющий на направление химических превращений углеводородов при механической активации	64
Кильдибаева С.Р. Математическая модель купола-сепаратора, предназначенного для сбора нефтепродуктов в шельфе	65
Корякина В.В., Калачева Л.П. Химические превращения компонентов гидрата природного газа при механоактивации с силикатными минералами	66
Круглякова Р.П., Шевцова Н.Т. Естественные выходы углеводородов и газогидраты на дне Черного моря в экономической зоне России	67
Ломакина А.В., Погодаева Т.В., Мамаева Е.В., Земская Т.И. Возможные пути окисления метана в донных осадках озера Байкал	68

Лубнин И. М., Михайлов М. А., Абрамов П. А., Соколов М.Н., Комаров В.Ю. Структуры гидратов кластеров $\{Mo_6I_8\}(H_2O)_2(OH)_4$	69
Лужецкий В.Г. Биогенные газогидраты в донных отложениях на озерах Байкал и Телецкое	70
Мадыгулов М.Ш., Заводовский А.Г., Щипанов В.П. Образование гидрата пропана при циклическом изменении температуры образца	71
Мадыгулов М.Ш., Заводовский А.Г., Щипанов В.П. Проявление индукционных явлений при диссоциации фреоногидрата-12	72
Нестеров А.Н., Решетников А.М. Определение квадрупольной точки гидрата диоксида углерода пересечением равновесной линии и линии плавления льда	73
Нефёдов П.А., Джеджерова А.А., Долгаев С.И., Истомин В.А., Квон В.Г., Герасимов Ю.А. Кинетика образования гидрата метана в растворах электролитов	74
Павлова О.Н., Букин С.В., Калмычков Г.В., Иванов В.Г., Хабуев А.В., Погодаева Т.В., Земская Т.И. Образование метана и этана микробным сообществом донных осадков оз. Байкал	75
Павлова О.Н., Букин С.В., Манаков А.Ю., Москвин В.И., Ломакина А.В., Морозов И.В., Земская Т.И. Термотолерантные микроорганизмы в донных осадках оз. Байкал, приуроченных к зонам разломов	77
Пермяков М.Е., Дучков А.Д., Манаков А.Ю. Измерения электрического сопротивления гидратсодержащих образцов в лабораторных условиях	78
Поденко Л.С., Нестеров А.Н., Драчук А.О., Молокитина Н.С., Решетников А.М. Механизмы диссоциации газовых гидратов, полученных из “сухой воды”, при отрицательных температурах	79
Портнягин А. С. Синтез гидратов природного газа в поровом пространстве естественной вмещающей породы	80
Родионова Т.В., Виллевальд Г.В., Карпова Т.Д. Калориметрические исследования энтальпий плавления ионных клатратных гидратов галогенидов тетрабутиламмония	82
Русинов А.А., Чиглинцева А.С., Сайниев В.Ф., Шепелькевич О.А. Модель процесса миграции газогидратных пузырьков в условиях гидратообразования	83
Семенов М.Е., Шиц Е.Ю., Калачева Л.П. Изучение процесса образования гидратов в статических условиях	85
Стрелец Л.А., Манаков А.Ю., Богословский А.В., Алтунина Л.К. Групповой состав адсорбционного слоя нефти на поверхности модельного гидрата	86

Хасанов М.К., Кильдибаева С.Р., Столповский М.В.	
Продувка пористого пласта газом, сопровождающаяся образованием газогидрата	87
Список участников конференции	88
Содержание	99

Научное издание

Российская конференция
ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ
В ЭКОСИСТЕМЕ ЗЕМЛИ' 2014

Программа конференции и тезисы докладов

Ответственный за выпуск
Татьяна Васильевна Родионова

Техническое редактирование и верстка
Миронова Г.Н.

Подписано к печати и в свет 31.03.2014.
Формат 60×84/8.
Гарнитура «Times New Roman». Печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 13,0.
Тираж 110 экз. Заказ № 118.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева
Сибирского отделения РАН.
Просп. Акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090.