

А.Е. Воробьев, В.П. Малюков

# **ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ. ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕТРАДИЦИОННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ**

2-е издание, исправленное и дополненное

Д о п у щ е н о

*Учебно-методическим объединением по образованию  
в области прикладной геологии в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по горно-геологическим и нефтяным специальностям*

**Москва**  
**Российский университет дружбы народов**  
**2009**

ББК 35.514  
В 75

Утверждено  
РИС Ученого совета  
Российского университета  
дружбы народов

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор,  
заместитель директора по научной работе ИПКОН РАН *С.Д. Викторов*,  
доктор технических наук, профессор, академик РАЕН,  
заслуженный изобретатель РФ *Е.В. Крейнин*

**Воробьев А.Е., Малюков В.П.**

**В 75** Газовые гидраты. Технологии воздействия на нетрадиционные углеводороды: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: РУДН, 2009. – 289 с.: ил.

ISBN 978-5-209-03107-9

В учебном пособии рассматриваются современные технологии разработки природных газовых гидратов, приводятся результаты научных исследований, а также практический опыт применения различных способов воздействия на месторождения нетрадиционных углеводородов.

Для студентов очной, очно-заочной, заочной и дистантной форм обучения по специальностям горного и нефтегазового дела, нефтепромышленной геологии, а также специалистов в области технологии и разработки месторождений полезных ископаемых, добычи и резервирования нефти и газа.

ISBN 978-5-209-03107-9

ББК 35.514

© Воробьев А.Е., Малюков В.П., 2009

© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2009

А

## **50-летию** **Российского университета** **дружбы народов** **посвящается**

*Дорогие друзья!*

*Вашему вниманию предлагаются лучшие книги, изданные в серии «Библиотека классического университета», посвященной пятидесятилетию со дня образования Российского университета дружбы народов. В этой серии опубликовано более 100 монографий, учебников и учебных пособий, рекомендованных к изданию Ученым советом Университета.*

*За прошедшие пятьдесят лет в Университете подготовлено более 60 тысяч специалистов, в том числе более 5 тысяч кандидатов и докторов наук, которые успешно работают более чем в 170 странах мира. В 1975 году Университет был награжден орденом Дружбы народов за заслуги в деле подготовки специалистов для стран Азии, Африки и Латинской Америки, Ближнего и Среднего Востока, а в 2002 году одна из малых планет Солнечной системы названа в честь Университета – РУДруНа.*

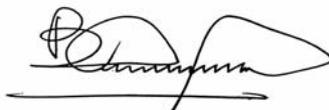
*В настоящее время в Университете и его филиалах обучается около 30 тысяч студентов, аспирантов, ординаторов, интернов и стажеров из 135 стран мира, представители около 450 народов и национальностей. Успешность выпускников РУДН в карьере и в бизнесе подтверждает качество нашего образования, которое обеспечивается, в частности, высоким уровнем учебников и учебных пособий, написанных выдающимися учеными и педагогами Университета.*

*В последние годы в Университете активно развиваются совместные международные магистерские программы и программы двойного научного руководства аспирантами с участием ведущих западноевропейских университетов и университетов стран Азии. И безусловно высокое качество подготовки специалистов на уровне требований ведущих университетов мира обеспечивается в Университете посредством издания не только учебников и учебных пособий, но и монографий, в которых отражены результаты фундаментальных исследований наших ученых. Российский университет дружбы народов по праву гордится своим профессорско-преподавательским составом, его вкладом в развитие отечественной науки и образования.*

*Издание серии «Библиотека классического университета» стало возможным благодаря помощи издательства РУДН и ряда других издательств, которые приняли участие в публикации книг этой серии. Мы высоко ценим их помощь и рассматриваем ее как вклад в развитие лучших традиций отечественного образования и науки, которым Российский университет дружбы народов следует на протяжении 50 лет своего существования.*

**Ректор РУДН**

академик



**В.М. ФИЛИПОВ**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	9
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	11
<b>Глава 1. Географо-генетическая классификация газогидратных залежей</b> .....	21
1.1. Субаквальные газогидратные залежи.....	26
1.2. Континентальные «стабильные» газогидратные залежи.....	30
1.3. Континентальные «метастабильные» газогидратные залежи..	32
<b>Глава 2. Геология месторождений природных газогидратов</b> .....	39
2.1. Геологическая обстановка в районах скоплений газовых гидратов Охотского моря.....	42
2.2. Геология месторождений газовых гидратов озера Байкал.....	45
2.2.1. Анализ керна приповерхностных осадков Южного Байкала.....	46
2.2.2. Анализ главных ионов воды, образовавшейся при разложении байкальских газовых гидратов.....	48
2.3. Геологическая характеристика месторождения газовых гидратов Маллик (Канада).....	50
2.3.1. Характеристика и обоснование промышленного освоения газогидратных месторождений.....	50
2.3.2. Геофизические исследования. Изучение кернового материала гидратосодержащих пластов месторождения Маллик. Термобарический разрез.....	53
<b>Глава 3. Субаквальные газогидратные залежи</b> .....	57
3.1. Типизация субаквальных газогидратных залежей.....	58
3.2. Возможные механизмы формирования химического состава катагенного гидратного газа.....	62
3.3. Субаквальные газогидратные залежи как индикатор более глубоких залежей нефти и газа.....	64

<b>Глава 4. Газовые гидраты Охотского моря</b> .....	68
4.1. Газовые гидраты Охотского моря: закономерности формирования и распространения.....	69
4.1.1. Особенности газогидратопроявлений в очагах разгрузки флюидов в Охотском море.....	69
4.1.2. Механизмы формирования газовых гидратов в Охотском море.....	76
4.1.3. Потенциально газогидратоносные акватории Охотского моря.....	80
4.2. Термобарические параметры и запасы газовых гидратов Охотского моря.....	87
<b>Глава 5. Газовые гидраты озера Байкал</b> .....	94
5.1. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал.....	94
5.1.1. Геофизические свидетельства существования газогидратов в осадках озера Байкал.....	94
5.1.2. Поиски и открытие поддонных метангидратов.....	101
5.2. Новые находки газовых гидратов в донных осадках озера Байкал.....	112
5.3. Метан бактериального и термогенного происхождения, полученный при разложении газовых гидратов.....	116
5.4. Определение теплопроводности гидратосодержащих осадков озера Байкал.....	120
<b>Глава 6. Анализ возможных технологий разработки газогидратных залежей</b> .....	126
6.1. Метод понижения давления, используемый для вызова притока газа из гидратного пласта.....	129
6.2. Метод теплового воздействия на газогидратную залежь.....	131
6.2.1. Практика разработки Мессояхского месторождения газовых гидратов.....	132
6.2.2. Тепловое воздействие на газогидратную залежь через забой скважины.....	133
6.2.3. Тепловое воздействие на газогидратную залежь через подошву пласта.....	134
6.2.4. Совместная разработка залежи высоковязной нефти и гидратных отложений тепловым воздействием.....	135
6.3. Моделирование добычи газа из гидратов методами понижения давления, нагрева гидратосодержащих пород и комбинированным методом.....	138
6.4. Методика расчета показателей эксплуатации газогидратных залежей.....	142

<b>Глава 7. Разработка технологий теплового воздействия на газовые гидраты месторождения Маллик (Канада).....</b>	<b>154</b>
7.1. Схема разработки месторождения вертикальными скважинами.....	154
7.2. Нетрадиционная термическая технология добычи трудноизвлекаемых тяжелых нефтей.....	156
7.3. Принципиальная схема термического метода разработки газогидратной залежи через скважину с веерными горизонтальными окончаниями.....	161
7.4. Физическая модель термической технологии разработки газогидратной залежи.....	165
<b>Глава 8. Распределение температуры вдоль скважины при закачке горячего теплоносителя с целью теплового воздействия на газогидратную залежь.....</b>	<b>170</b>
8.1. Приближенное аналитическое решение задачи определения температуры движущейся по скважине смеси и скорости разложения газовых гидратов.....	179
8.2. Численный расчет распределения температуры и давления вдоль скважины. Определение дебита метана.....	180
<b>Глава 9. Методы добычи, подготовки и транспортировки гидратного газа из морских газогидратных залежей.....</b>	<b>184</b>
9.1. Тепловой метод добычи газогидратов.....	184
9.2. Депрессионный метод добычи газогидратов.....	186
9.3. Ингибиторный метод добычи газогидратов.....	186
9.4. Технологические схемы подготовки и транспорта газогидратов газа.....	188
<b>Глава 10. Образование техногенных газовых гидратов в системах трубопроводов в процессе разработки нефтяных и газовых месторождений, транспорта и хранения углеводородов.....</b>	<b>192</b>
10.1. Методы предупреждения образования гидратов углеводородов.....	192
<b>Глава 11. Кинетика и морфология вторичных кристаллов газовых гидратов.....</b>	<b>196</b>
11.1. Первичное образование газогидратов.....	197
11.2. Форма монокристаллов при вторичном образовании газогидратов.....	201
11.3. О цвете первичных микрокристаллов газогидратов.....	204
11.4. К вопросу образования газовых пузырей.....	206

<b>Глава 12. Исследование гидратообразования в пористой среде</b> .....	210
12.1. Методика экспериментального определения условий образования гидратов.....	212
12.2. Анализ результатов исследования.....	218
<b>Глава 13. Предупреждение гидратообразования в условиях нефтяных и газовых месторождений и хранения углеводородов</b> .....	222
13.1. Предупреждение гидратообразования в системах сбора и промышленной подготовки газа Заполярного месторождения.....	222
13.2. Технологические потери метанола.....	228
13.3. Ингибиторосберегающие способы отбора газа на ПХГ в каменной соли.....	232
<b>Глава 14. Равновесное условие разложения газовых гидратов, диспергированных в мезопористых средах</b> .....	239
14.1. Влияние размера пор среды на термодинамические условия разложения газовых гидратов.....	239
14.2. Структура и размеры пор нанопористых материалов (мезопористых мезофаз).....	242
14.3. Анализ результатов образования кристаллов гидрата в пористом пространстве.....	247
<b>Глава 15. Превентивные методы борьбы с гидратообразованием в трубопроводах</b> .....	252
15.1. Определение интенсивности нарастания газогидратных отложений на стенках трубопровода.....	252
15.2. Расчет образования гидратных отложений.....	254
15.3. Способы устранения гидратообразований.....	256
<b>Глава 16. Эффект самоконсервации газовых гидратов</b> .....	262
16.1. Газогидратные технологии хранения и транспорта природного газа.....	264
<b>Глава 17. Экономическая оценка рентабельности добычи газа из газовых гидратов</b> .....	268
<b>Глава 18. Структура решетки в гидратах I и II типов</b> .....	270
<b>Глава 19. Природное высокомолекулярное сырье нефтегазоконденсатного месторождения</b> .....	273
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	276
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	283