

УДК 622.276.1/4
ББК 33.36
Г14

Рецензенты: Лобковский Леопольд Исаевич, д.ф.-м.н., академик РАН,
ФГУБН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской Академии Наук»,
научный руководитель Геологического направления

Шпуров Игорь Викторович, д.т.н., академик РАЕН,
генеральный директор ФБУ «ГКЗ»

Гайдуков Л.А., Михайлов Н.Н.
Техногенез нефтяных и газовых пластов. –
М.: Изд-во «НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО», 2024. – 344 с.

Рассмотрены проблемы междисциплинарного изучения, моделирования и учета при проектировании сложных эффектов техногенеза нефтяных и газовых пластов на всем жизненном цикле разработки месторождений. На примере неконсолидированных пластов с высоковязкой нефтью и засоленных пластов с гетерогенной смачиваемостью на основе фактических данных эксплуатации, лабораторных экспериментов и численного моделирования представлен анализ влияния на показатели разработки разнонаправленных эффектов техногенеза от масштаба околоскважинной зоны до масштаба межскважинного пространства.

На практических примерах показано, что стандартные подходы моделирования и методики проектирования разработки не учитывают в полной мере специфику и аномальность техногенеза пластов, осложненных уникальным комплексом геолого-физических факторов. Представлены результаты экспериментальных исследований, физико-математические модели, подходы и методики, которые формируют научно-методическую основу для эффективной разработки месторождений в новых перспективных регионах развития РФ в условиях проявления сложных эффектов техногенеза, а также позволяют существенно снизить риски принятия ошибочных решений на этапе проектирования, проведения опытно-промышленных работ и разработки дизайнов геолого-технологических мероприятий.

Книга предназначена для инженеров, научных работников, аспирантов и студентов, интересующихся проблемами моделирования и проектирования разработки месторождений нефти и газа в условиях проявления сложных эффектов техногенного воздействия на пласт.

ISBN 978-5-93623-046-2

© Гайдуков Л.А., Михайлов Н.Н., 2024

© Оформление.

ЗАО «Издательство «НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
Введение	8

ГЛАВА 1. ЭФФЕКТЫ КОЛЬМАТАЦИИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПЕРВИЧНОМ ВСКРЫТИИ ПЛАСТА

14

1.1. Описание механизмов кольматации первичной околоскважинной зоны	14
1.2. Физические процессы и параметры, определяющие геометрию зоны кольматации пласта при его первичном вскрытии	23
1.3. Математические модели для оценки влияния кольматации пласта на продуктивность нефтяных скважин	26
1.4. Математические модели нелинейной фильтрации флюида к скважине с техногенно измененной околоскважинной зоной	36

ГЛАВА 2. ЭФФЕКТЫ ЗАЩЕМЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ И ПЛАСТОВЫХ ФЛЮИДОВ В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....

52

2.1. Описание механизма формирования капиллярно-защемленных фаз в поровом пространстве	52
2.2. Результаты экспериментов по влиянию защемления технологической жидкости на фазовую проницаемость по нефти.....	56
2.3. Математическая модель для оценки влияния эффекта капиллярного защемления на продуктивность нефтяных скважин	59
2.4. Математическая модель для оценки влияния эффектов капиллярного защемления фаз и осушки на продуктивность газовых скважин	62

ГЛАВА 3. ЭФФЕКТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА ПРИ ВТОРИЧНОМ ВСКРЫТИИ ПЛАСТА

70

3.1. Механизмы техногенеза при вторичном вскрытии пласта	70
3.2. Влияние параметров вторичного вскрытия пласта на продуктивность скважины.....	77

Глава 4. КИНЕТИКА ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА И ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ.....

83

4.1. Общие закономерности кинетики поражения пласта	83
4.2. Параметрическая модель учета кинетики поражения пласта в процессе разработки	85

4.3. Суффозия твердых частиц породы	88
4.3.1. Механизм деформационных и суффозионных эффектов техногенеза, определяющих динамику продуктивности скважин	90
4.3.2. Механизм разрушения глинистых перемычек в процессе разработки неконсолидированных пластов.....	93
4.3.3. Механизм образования и распространения «червоточин» в межскважинном пространстве при заводнении неконсолидированных пластов	96
4.3.4. Кольматация порового пространства околоскважинной зоны нагнетательной скважины.....	104
4.4. Механизмы внутрипластового осадкообразования в околоскважинной зоне добывающих скважин	108
4.4.1. Самокольматация порового пространства частицами АСПВ.....	109
4.4.2. Закономерности парафиновой кольматации.....	112
4.4.3. Закономерности асфальтеновой кольматации.....	118
4.4.4. Механизмы выпадения солей в поровом пространстве пласта	121
4.4.5. Общий механизм выпадения солевого осадка при смешении пластовых и техногенных вод	122
4.4.6. Механизм выпадения CaSO_4 в околоскважинной зоне добывающей скважины.....	128
4.4.7. Механизм выпадения NaCl в околоскважинной зоне добывающей скважины	131
4.5. Изменение структуры порового пространства в результате рассоления породы пласта.....	136
4.5.1. Результаты керновых экспериментов по определению влияния рассоления на структуру порового пространства и свойства пласта.....	138
4.5.2 Изменение геомеханических свойств пласта при рассолении	145
4.6. Изменение структуры порового пространства в результате выщелачивания гипса.....	147

ГЛАВА 5. ТЕХНОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТА В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ.....	156
5.1. Зависимости проницаемости пласта от давления	156
5.2. Математические модели для оценки влияния техногенной деформации пласта на продуктивность скважин.....	162
5.3. Техногенное изменение продуктивности неконсолидированных пластов вследствие их деформации в процессе разработки	173
5.4. Деформационные механизмы техногенного перераспределения фильтрационных потоков при заводнении неконсолидированных пластов	175
5.5. Моделирование деформационных эффектов техногенеза при заводнении неконсолидированных пластов.....	178

**ГЛАВА 6. ОПИСАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОРАЖЕНИЯ ПЛАСТА
С ПОМОЩЬЮ СКИН-ФАКТОРА.....184**

6.1. Понятие «скин-фактор»184

6.2. Скин-фактор вертикальной скважины в техногенно измененном,
деформируемом пласте188

6.3. Скин-фактор горизонтальной скважины193

6.4. Определение параметров зоны поражения пласта
через декомпозицию скин-фактора.....198

 6.4.1. Определение структуры зоны поражения пласта с помощью
 комплексных термогидродинамических исследований199

 6.4.2. Определение структуры зоны поражения пласта с помощью
 геофизических методов209

**ГЛАВА 7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КИНЕТИКИ
ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ОКОЛОСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА216**

7.1. Модель деформационных и суффозионных эффектов техногенеза
в околоскважинной зоне добывающих скважин.....218

7.2. Модель разрушения глинистых перемычек при разработке
неконсолидированного пласта222

7.3. Модель первичной околоскважинной зоны засоленного пласта
с гетерогенной смачиваемостью225

7.4. Модель выпадения NaCl в околоскважинной зоне
засоленного пласта при прорыве фронта
высокоминерализованной воды229

 7.4.1. Упрощенная аналитическая модель выпадения NaCl
 в околоскважинной зоне232

 7.4.2. Структура околоскважинной зоны на различных стадиях
 разработки засоленных пластов с гетерогенной смачиваемостью237

7.5. Модель выпадения парафина в околоскважинной зоне
низкотемпературного пласта.....239

**ГЛАВА 8. МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТЕХНОГЕННОГО
ИЗМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ПЛАСТА
В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ254**

8.1. Моделирование образования техногенных каналов «червоточин»
при заводнении неконсолидированных пластов256

8.2. Моделирование эффекта рассоления пласта при заводнении
низкоминерализованной водой258

 8.2.1. Методика распространения засоления в межскважинном
 пространстве модели пласта260

8.2.2. Физико-математическая модель рассоления пласта при заводнении низкоминерализованной водой	261
8.2.3. Результаты численного моделирования.....	267
8.3. Моделирование фильтрационных потоков при заводнении пласта с гетерогенной смачиваемостью	269
8.3.1. Современные представления о смачиваемости коллектора	269
8.3.2. Влияние гетерогенной смачиваемости на разработку пласта	272
8.4. Подходы к проведению информативных опытно-промышленных работ для выявления и исследования эффектов техногенеза	277

ГЛАВА 9. ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ФЛЮИДОВ

В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТА	285
9.1. Исследование проявления эффекта «пенной нефти».....	286
9.2. Исследование эффекта внутрипластовой эмульсификации	291
9.3. Физико-математическая модель многофазной фильтрации при наличии микропузырьков газа в потоке.....	294
9.3.1. Математическая модель	295
9.3.2. Влияние частичного разгазирования на динамику притока нефти и вид индикаторной диаграммы	305
9.4. Подходы к имитации эффектов «пенной нефти» и внутрипластовой эмульсификации в гидродинамической модели пласта	310
9.4.1. Гидродинамическое моделирование эффекта «пенной нефти».....	311
9.4.2. Гидродинамическое моделирование внутрипластовой эмульсификации	314
Заключение.....	324
Приложение	326

По вопросам обращайтесь в редакцию

ПРЕДИСЛОВИЕ

*Успех научного поиска во многом зависит от того,
насколько хорошо ученый понимает
значимость супруги в своей жизни.*

В основе книги лежат результаты исследований авторов, полученные в течение 15 лет совместной плодотворной работы по научному направлению изучения и моделирования влияния техногенных процессов на разработку нефтяных и газовых пластов. Большая часть представленного в книге материала отражена в докторской диссертации Л.А. Гайдукова «Научные основы разработки нефтяных пластов с аномальным проявлением техногенеза». Часть результатов получена в сотрудничестве с Д.Н. Михайловым, А.Н. Михайловым, М.В. Зайцевым, М.В. Чирковым, А.В. Новиковым, Д.В. Посвянским, а также со специалистами АО «Мессояханефтегаз», ООО «ТННЦ», за что авторы выражают им большую благодарность.

История написания данной книги неразрывно связана с деятельностью кафедры «Фундаментальные основы газового дела» (ФОГД) Московского физико-технического института, выпускником которой является Л.А. Гайдуков, а Н.Н. Михайлов на протяжении многих лет являлся ее профессором. В связи с этим важно отметить неоценимый вклад первого заведующего кафедрой ФОГД, д.т.н., профессора Максимова В.М., без которого данная работа вряд ли бы состоялась.

*Светлой памяти Вячеслава Михайловича Максимова
авторы посвящают эту книгу.*

Л.А. Гайдуков, Н.Н. Михайлов

Леонид Андреевич Гайдуков
Николай Нилович Михайлов

Техногенез нефтяных и газовых пластов

По вопросам приобретения обращайтесь в редакцию: mail@oil-industry.ru

Научное редактирование В.Н. Зверева
Редактирование, корректура О.В. Провоторова
Верстка, дизайн А.А. Клышникова

Подписано в печать 01.12.2023. Формат 64×90 1/16.

Усл. печ. л. 21,5. Гарнитура Остava. Тираж 500 экз.

ЗАО «Издательство «НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

115419, 2-й Рошинский проезд, 8с2,

Бизнес-центр «Серпуховской двор-2»

Тел.+7 (495) 247-50-90

E-mail: mail@oil-industry.ru

www.oil-industry.ru

Отпечатано в ООО «Август Борг»

107497, г. Москва,

Амурская ул., д. 5, стр. 2

ISBN 978-5-93623-046-2



9 785936 230462