

О.В. Савенок, Т.В. Арутюнов

СЛАНЦЕВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ:

**АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО
СОСТОЯНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗРАБОТКИ**

О.В. Савенок, Т.В. Арутюнов

**СЛАНЦЕВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ:
АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ**

Монография

Краснодар
2019

УДК 622.276+552.521
ББК 33.361
С12

Рецензенты:

*Бекетов Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры геофизических методов поисков
и разведки месторождений полезных ископаемых
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;*
*Третьяк Александр Яковлевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Нефтегазовая техника и технологии»
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова», академик РАЕН.*

С12 Савенок, Ольга Вадимовна.

**Сланцевые углеводороды: анализ текущего состояния и перспективы
разработки** : монография / О.В. Савенок, Т.В. Арутюнов. – Краснодар :
Издательский Дом – Юг, 2019. – 272 с.

ISBN 978-5-91718-590-3



*Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований по проекту № 19-15-00017, не подле-
жит продаже.*

В книге представлен системный анализ и разработка научно-методических принципов лабораторно-математического моделирования глинисто-кремнистых сланцевых пород и возможность применения полученных результатов для повышения нефтеотдачи при эксплуатации сланцевых отложений. Проведён анализ повышения добычи сланцевых углеводородов методом гидроразрыва пласта. Рассмотрены теоретические аспекты разработок месторождений сланцевых углеводородов в России, выбора метода ГРП и химического агента.

Монография рассчитана на широкий круг читателей и может быть полезна для научных и инженерно-технических работников нефтегазодобывающей промышленности, занимающихся вопросами разработки месторождений сланцевых углеводородов.

The book presents a systematic analysis and development of scientific and methodological principles of laboratory and mathematical modeling of clay-siliceous shale rocks and the possibility of applying the results to improve oil recovery during the operation of shale deposits. The analysis of shale hydrocarbon production increase by hydraulic fracturing method is carried out. Theoretical aspects of shale hydrocarbon field development in Russia, choice of hydraulic fracturing method and chemical agent are considered.

The monograph is designed for a wide range of readers and can be useful for scientists and engineers of oil and gas industry, engaged in the development of shale hydrocarbon fields.

ББК 33.361
УДК 622.276+552.521

ISBN 978-5-91718-590-3

- © О.В. Савенок, Т.В. Арутюнов, 2019
- © Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), 2019
- © Оформление – ООО «Издательский Дом – Юг», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Глава 1	
Изученность ресурсов сланцевого газа и газоносных сланцев	13
1.1 Общие представления о нетрадиционных ресурсах углеводородов	13
1.2 Происхождение сланцевого газа	16
1.3 Уникальные особенности газоносных сланцев	17
1.4 Особенности залегания и миграции сланцевого газа в сланцевых толщах	19
1.5 Состояние, тенденции и перспективы выработки запасов (ресурсов) углеводородов из сланцевых отложений	20
1.5.1 Состояние выработки запасов (ресурсов) углеводородов из сланцевых отложений	20
1.5.2 Сланцевые нефть и газ России	22
1.5.3 Запасы и ресурсы нефтегазоносных сланцев	23
1.5.4 Перспективы выработки запасов углеводородов из сланцевых отложений	27
1.6 История изучения газоносных сланцев	31
1.7 Методология оценки ресурсов сланцевых отложений	33
1.8 Методы и технологии выработки запасов УВ из сланцевых месторождений	35
1.9 Принципы классификации нефтегазодобывающих систем по признакам неопределённости, нечёткости и неоднородности	42
Выводы	43
Глава 2	
Литолого-петрографические особенности и условия формирования отложений баженовской свиты	44
2.1 Условия накопления и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири	44
2.1.1 Запасы нефти в пластах баженовской свиты	44
2.1.2 Отложения баженовской свиты	44
2.1.3 Состав пород баженовской свиты	45
2.1.4 Формирование баженовской свиты	46
2.2 Территориальное и стратиграфическое положение отложений баженовской свиты	47
2.3 Нефтегазоносность отложений баженовской свиты	50
2.4 Особенность баженовского коллектора	52
2.5 Особенности геологического строения нетрадиционных коллекторов баженовской свиты	53

2.6	Литолого-петрографические особенности и условия формирования отложений баженовской свиты на Западно-Квензерской площади (Томская область)	58
2.6.1	Характеристика объекта исследования	58
2.6.2	Методы и методика исследований	59
2.6.3	Выделение литотипов в разрезе скважины № 4 Западно-Квензерской площади	61
2.6.4	Геофизическая характеристика литотипов	66
2.6.5	Петрографические особенности литотипов	68
2.6.6	Вещественный состав литотипов по результатам рентгенофазового анализа	71
2.7	Современный опыт разработки баженовской свиты	73
2.8	Применение технологии термогазового воздействия (ТГВ).....	75
2.8.1	Описание метода термогазового воздействия	76
2.8.2	Преимущества метода ТГВ	79
2.8.3	Значимость метода ТГВ в науке	79
	Выводы	80

Глава 3

Анализ характеристик геологического строения

	и коллекторских свойств сланцевых объектов	81
3.1	Особенности строения месторождений сланцевых отложений	81
3.2	Условия образования горючих сланцев	87
3.2.1	Палеогеографические условия проявления сланценосных формаций	87
3.2.2	О роли бактерий в преобразовании органического вещества	91
3.2.3	Глубина накопления органического вещества горючих сланцев	92
3.2.4	Стадийность сланцеобразования	93
3.3	Сланценосные формации и форма залежей горючих сланцев	95
3.3.1	Основные сланценосные формации	95
3.3.2	Фации и ритмы сланценакопления	103
3.3.3	Геотектонические типы месторождений горючих сланцев	107
3.3.4	Форма залежей горючих сланцев	110
3.4	Основные свойства горючих сланцев	116
3.4.1	Элементарный состав органического вещества	116
3.4.2	Выход смолы	117
3.4.3	Зольность	119
3.4.4	Концентраты керогена	120
3.4.5	Влажность	120
3.4.6	Крепость	121
3.4.7	Плотность	121

3.4.8	Пористость	122
3.4.9	Пределы прочности	122
3.4.10	Теплофизические свойства	122
3.4.11	Радиоактивность сланцев	123
3.4.12	Химическая классификация сланцев	123
3.5	Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Ваккен	124
3.6	Постановка задачи физико-химического моделирования сланцевых пород	143
Выводы	.....	148
 Глава 4		
	Моделирование поровой структуры сланцевых пород	149
4.1	Принципы моделирования поровой структуры сланцевых пород	149
4.2	Оценка параметров порового пространства глинистых пород	157
4.3	Моделирование глинистых пород с колломорфным кремнезёмом	169
Выводы	.....	172
 Глава 5		
	Экспериментальные исследования	
	глинисто-кремнистых сланцевых пород	173
5.1	Постановка задачи экспериментальных исследований глинисто-кремнистых сланцевых пород	173
5.2	Разработка методологии приготовления образцов глинисто-кремнистых пород с учётом факторов неоднородности и неопределённости	175
5.2.1	Факторы методической неоднородности, неопределённости и нечёткости сланцевых пород	175
5.2.2	Методология приготовления искусственных образцов глинисто-кремнистых сланцевых пород с заданными свойствами	177
5.3	Исследование удельной поверхности сланцевых пород	188
5.4	Экспериментальные исследования способности глинисто-кремнистых образцов пород создавать новые поверхности	201
Выводы	.....	210
 Глава 6		
	Технологические подходы к разработке ресурсов сланцевого газа	211
6.1	Направленное и горизонтальное бурение	211

6.2	Гидравлический разрыв пласта (ГРП)	214
6.2.1	Технологии ГРП по типу стимуляционного флюида	214
6.2.2	Технологии ГРП по методике проведения разрыва	218
6.3	Мониторинг процесса гидроразрыва и развития трещин	222
6.4	Объёмный ГРП	223
6.4.1	Концепция стимулированного объёма пласта и объёмного ГРП	223
6.4.2	Технологические особенности проведения объёмного ГРП	226
6.5	Обзор опыта применения методов интенсификации притока нефти на коллекторах с осложнёнными условиями разработки	227
6.6	Жизненный цикл инновационного продукта – сланцевого газа	232
Выводы	.....	234
 Глава 7		
Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов		
		236
Выводы	.....	244
 Глава 8		
Влияние сланцевого газа на мировой энергетический рынок		
		245
8.1	Карта месторождений сланцевого газа в мире, перспективы разработки месторождений	245
8.2	Экономические факторы добычи углеводородов из сланцевых месторождений	248
8.3	Перспективы экономического влияния сланцевого газа на мировой газовый рынок	252
8.4	Перспективы российского газа в контексте газосланцевой лихорадки	252
8.5	Энергетический аспект экономической безопасности внешней торговли России в современных условиях	255
Выводы	.....	257
Заключение	.....	258
Список литературы	.....	259