

А. Б. АЛХАСОВ  
Д. А. АЛХАСОВА  
М. Г. АЛИШАЕВ  
А. Ш. РАМАЗАНОВ  
М. М. РАМАЗАНОВ

# ОСВОЕНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА РАН  
В. Е. ФОРТОВА



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2022

УДК 620.92  
ББК 31я73; А541  
О72

Авторский коллектив:  
Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алишаев М.Г.,  
Рамазанов А.Ш., Рамазанов М.М.

**Освоение геотермальной энергии** / Под ред. В.Е. Фортова. —  
М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-9221-1950-4.

В монографии рассмотрены современное состояние и перспективы освоения геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья. Приведены энергоэффективные технологии освоения гидрогеотермальных ресурсов разного энергетического потенциала, комбинированные технологии, сочетающие различные возобновляемые источники энергии. Исследованы процессы тепломассопереноса в системах по отбору геотермального тепла, дана оценка экологического состояния освоения ресурсов. Предложены технологии водоподготовки низкопотенциальных вод и технологии комплексного освоения высокотемпературных рассолов с утилизацией тепловой энергии и последующим извлечением химических компонентов из охлажденного рассола.

Монография предназначена научным работникам, инженерам и студентам энергетических специальностей.

ISBN 978-5-9221-1950-4

© ФИЗМАТЛИТ, 2022  
© Коллектив авторов, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора . . . . .	6
Введение . . . . .	9
<b>Глава 1. Гидрогеотермальные ресурсы Восточно-Предкавказского артезианского бассейна . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1. Современное состояние низкопотенциальных вод ВПАБ . . . . .	14
1.2. Ресурсы плиоценового гидрогеотермического яруса . . . . .	16
1.3. Ресурсы миоценового гидрогеотермического яруса . . . . .	18
1.4. Ресурсы мезозойского гидрогеотермического яруса . . . . .	20
1.5. Тепловой режим осадочной толщи . . . . .	21
1.6. Прогнозная оценка эксплуатационных ресурсов низкопотенциальных вод . . . . .	23
1.7. Оценка эксплуатационных запасов геотермального месторождения . . . . .	27
1.8. Факторы, влияющие на дебит геотермальной скважины . . . . .	30
<b>Глава 2. Месторождения термальных вод Дагестана . . . . .</b>	<b>36</b>
2.1. Махачкала-Тернаирское месторождение . . . . .	36
2.2. Кизлярское месторождение . . . . .	41
2.3. Избербашское месторождение . . . . .	42
2.4. Каякентское месторождение . . . . .	43
<b>Глава 3. Технологии освоения геотермальных ресурсов . . . . .</b>	<b>45</b>
3.1. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения . . . . .	45
3.2. Теплонасосные системы теплоснабжения с низкопотенциальными термальными водами . . . . .	49
3.3. Системы теплонасосного теплоснабжения с грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах . . . . .	55
3.4. Эколого-экономические аспекты использования тепловых насосов . . . . .	61
3.5. Комплексное освоение низкопотенциальных геотермальных ресурсов . . . . .	63
3.6. Комбинированные технологии освоения ВИЭ . . . . .	70
3.6.1. Солнечно-геотермальная система . . . . .	70
3.6.2. Экспериментальная солнечно-геотермальная система . . . . .	72
3.6.3. Геотермально-биогазовая технология . . . . .	77
3.6.4. Технология по выработке электроэнергии и утилизации остаточного тепла . . . . .	80
3.7. Совместная добыча пресных низкопотенциальных и термальных минерализованных вод . . . . .	83
3.8. Тепломассоперенос в скважинах по совместно-раздельной добыче . . . . .	89
3.9. ГЦС с внутрискважинными теплообменниками . . . . .	93
Список литературы к гл. 1–3 . . . . .	97

<b>Глава 4. Интенсификация теплообмена оребрением теплопередающей поверхности . . . . .</b>	<b>100</b>
4.1. Теплопередача через ребристую стенку . . . . .	100
4.2. Расчет гидравлических сопротивлений оребренных поверхностей . . . . .	110
4.3. Решение контактной задачи установившегося распределения температур с учетом числа ребер и толщины теплопередающей трубы . . . . .	114
Список литературы к гл. 4 . . . . .	123
<b>Глава 5. Извлечение низкопотенциальной тепловой энергии горных пород . . . . .</b>	<b>125</b>
5.1. Извлечение и аккумуляция тепла грунта скважинным теплообменником в сезонном режиме работы . . . . .	125
5.2. О возможности аккумуляции и извлечения теплоты в горной породе . . . . .	136
5.3. Использование скважинных теплообменников для подогрева низкопотенциальной артезианской воды . . . . .	145
Список литературы к гл. 5 . . . . .	158
<b>Глава 6. Исследование закономерностей тепломассопереноса при двух- и однофазном течении теплоносителя в системе геотермальный пласт–скважина . . . . .</b>	<b>162</b>
6.1. Тепломассоперенос при фильтрации пароводяной смеси в пласте . . . . .	168
6.2. Тепломассоперенос при фильтрации пароводяной смеси в системе скважина–геотермальный пласт . . . . .	180
6.3. Конвективный теплообмен между вертикальной скважиной и водоносным горизонтом . . . . .	190
6.4. Исследование влияния естественной конвекции на теплообмен в системе горизонтальная скважина–проницаемая горная порода . . . . .	198
Список литературы к гл. 6 . . . . .	207
<b>Глава 7. Освоение геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии . . . . .</b>	<b>210</b>
7.1. Выбор рабочего тела для ГеоЭС . . . . .	213
7.2. Оптимизация цикла, реализуемого во вторичном контуре ГеоЭС . . . . .	217
7.3. Оптимизация технологических параметров первичного контура ГеоЭС . . . . .	221
7.4. Бинарная ГеоЭС с использованием простаивающих скважин на выработанных нефтяных и газовых месторождениях . . . . .	228
7.5. Бинарная ГеоЭС с использованием среднепотенциальных гидротермальных ресурсов . . . . .	233
7.6. Геотермально-парогазовая энергетическая система . . . . .	235
7.7. Перспективы освоения Тернаирского геотермального месторождения . . . . .	237
7.8. Теплообменники для утилизации тепла высокотемпературных геотермальных рассолов . . . . .	239
Список литературы к гл. 7 . . . . .	244

<b>Глава 8. Комплексное освоение высокопараметрических гидрогеотермальных ресурсов ВПАБ . . . . .</b>	<b>248</b>
8.1. Технологии освоения высокопараметрических гидрогеотермальных ресурсов . . . . .	252
8.2. Освоение рассолов Берикейского геотермального месторождения . . . . .	258
8.3. Освоение высокотемпературных рассолов Тарумовского геотермального месторождения . . . . .	261
8.4. Освоение рассолов Южносухокумского газонефтяного месторождения . . . . .	266
Список литературы к гл. 8 . . . . .	272
<b>Глава 9. Химико-технологические и экологические аспекты освоения гидрогеотермальных ресурсов . . . . .</b>	<b>275</b>
9.1. Низкопотенциальные воды как вероятный фактор вторичного засоления почв . . . . .	275
9.2. Идентификация токсичных компонентов в почвах в местах разгрузки подземных вод . . . . .	277
9.3. Изучение минерального состава низкопотенциальных вод и степени их загрязненности . . . . .	278
9.4. Перспективы освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Кизлярского района . . . . .	280
9.5. Перспективы освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Тарумовского района . . . . .	283
9.6. Оценка качества низкопотенциальных вод Бабаюртовского района . . . . .	287
9.7. Оценка качества низкопотенциальных вод Ногайского района . . . . .	288
9.8. Районирование территорий с аномально высоким содержанием мышьяка . . . . .	289
9.9. Проблемы утилизации попутных газов . . . . .	292
9.10. Органические вещества — загрязнители низкопотенциальных вод . . . . .	296
9.11. Масс-спектрометрическая идентификация растворенных органических веществ . . . . .	302
9.12. Технологии очистки низкопотенциальных вод . . . . .	303
Список литературы к гл. 9 . . . . .	307
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>313</b>