

В.А. МИРОНЕНКО

ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Издание 5-е, стереотипное

*Рекомендовано Министерством образования
и науки Российской Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению «Геология и разведка
полезных ископаемых», специальности
«Поиск и разведка подземных вод и инженерно-
геологические изыскания»*



МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО

**МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

2 0 0 9

УДК 551.49
ББК 26.35
М 64

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.012634.11.08

Мироненко В.А.

М 64 Динамика подземных вод: Учебник для вузов. — 5-е изд., стер. — М.: издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. — 519 с.: ил. (ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА)
ISBN 978-5-98672-124-8 (в пер.)
ISBN 978-5-7418-0570-1

Изложена теория движения подземных вод: физико-математические основы фильтрации, методы решения задач плановой фильтрации, теоретические основы опытно-фильтрационных работ, а также основы миграции подземных вод и влагопереноса в зоне аэрации. Особое место занимает раздел, посвященный приложению методов динамики подземных вод при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Геология и разведка полезных ископаемых», специальности «Поиск и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания».

УДК 551.49
ББК 26.35

ISBN 978-5-98672-124-8
ISBN 978-5-7418-0570-1



© В.А. Мироненко, 2005, 2009
© Издательство «Горная книга», 2009
© Издательство МГГУ, 2005, 2009
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2005, 2009

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	17
-------------------	----

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (ОСНОВНОЙ КУРС)

Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	28
1.1. Вода как жидкость. Исходные физико-механи- ческие представления	28
1.1.1. Основные свойства жидкостей	28
1.1.2. Элементы гидростатики	31
1.1.3. Гидростатический напор	33
1.1.4. Элементы гидродинамики идеальной жидкости	34
1.1.5. Элементы гидродинамики реальной жидкости	37
1.1.6. О режимах движения	43
1.2. Общая физическая характеристика водонасы- щенных горных пород	46
1.2.1. Геометрия пор и трещин в горных поро- дах	46
1.2.2. Виды воды в горных породах с позиций задач динамики подземных вод	48
1.2.3. Водонасыщенные горные породы как сплошная среда	52

1.3. Подземная гидростатика (напряжения в водонасыщенных горных породах)	54
1.4. Емкостные свойства горных пород	61
1.4.1. Гравитационная емкость	61
1.4.2. Упругая емкость	63
1.5. Основной закон фильтрации и проницаемость горных пород	71
1.5.1. Закон Дарси.....	71
1.5.2. Коэффициент фильтрации и коэффициент проницаемости	76
1.5.3. Ограничения на закон Дарси	80
1.5.4. Общие представления о статистической теории фильтрации.....	84
1.5.5. О напряженном состоянии горных пород в фильтрационном потоке (гидродинамическое давление)	86
1.6. Общая физическая характеристика геофильтрационных процессов	88
1.7. Физические основы моделирования геофильтрационных процессов	95
Контрольные вопросы	102

Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ

ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	104
------------------------------	-----

2.1. Гидродинамическая типизация условий движения подземных вод	105
2.2. Построение основных дифференциальных уравнений геофильтрации и математические основы моделирования фильтрационных процессов	114
2.2.1. Дифференциальные представления исходных физических закономерностей	114

2.2.2. Расчетная модель жесткого режима фильтрации	117
2.2.3. Расчетная модель упругого режима фильтрации	119
2.2.4. Подobie дифференциальных уравнений как основа математического моделирова- ния фильтрации	121
2.3. Основные дифференциальные уравнения пла- новой фильтрации	123
2.3.1. Плановая фильтрация в изолированном напорном пласте	125
2.3.2. Плановая напорная фильтрация при на- личии перетекания	125
2.3.3. Плановая фильтрация в безнапорном пласте	127
2.4. Краевые условия фильтрации	131
2.5. Математическая модель плановой фильтра- ции — условия применимости и основные рас- четные схемы	141
2.5.1. Об условиях применимости расчетной модели плановой фильтрации	141
2.5.2. Основные расчетные схемы плановой фильтрации	143
Контрольные вопросы	149
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ПЛАНОВОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	151
3.1. Плоскопараллельная (одномерная) стационар- ная фильтрация	152
3.1.1. Задача о напорной фильтрации между двумя бассейнами (реками)	152
3.1.2. Задача о безнапорной фильтрации меж- ду двумя бассейнами (реками)	155

3.1.3. О формуле Дюпюи и промежутке высачивания.....	158
3.1.4. Безнапорная фильтрация в слоистом пласте между двумя бассейнами (реками) при отсутствии инфильтрации.....	160
3.1.5. Напорно-безнапорная фильтрация между двумя бассейнами (реками) при отсутствии инфильтрации.....	161
3.1.6. Движение в плано-неоднородном напорном пласте.....	163
3.1.7. Безнапорное движение между двумя бассейнами (реками) в однородном пласте с наклонным водоупором при отсутствии инфильтрации.....	165
3.2. Плоскорадиальная (одномерная) стационарная фильтрация.....	168
3.2.1. Задача о фильтрации к скважине в круговом пласте.....	168
3.2.2. Задача о скважине в пласте с перетеканием.....	170
3.3. Решение задач двухмерной установившейся фильтрации на основе принципа сложения течений.....	174
3.4. Метод эквивалентных фильтрационных сопротивлений.....	182
3.5. Общие принципы моделирования задач плановой стационарной фильтрации.....	193
3.5.1. Сплошные модели из электропроводной бумаги.....	193
3.5.2. Дискретные модели — сетки электрических сопротивлений.....	198
Контрольные вопросы.....	202

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ПЛАНОВОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	204
4.1. Простейшие одномерные решения и пути их использования для исследования двухмерных задач плановой фильтрации	206
4.1.1. Фундаментальное решение (задача о подпоре вблизи водохранилища)	206
4.1.2. Задача о плоскорадиальной фильтра- ции к скважине	214
4.1.3. О возможностях распространения реше- ний одномерных задач на двухмерные плановые потоки	221
4.2. Аналитическое исследование нестационарных фильтрационных процессов методами интеграль- ных преобразований	224
4.3. Моделирование нестационарных плановых по- токов	232
4.3.1. Конечно-разностная форма дифферен- циальных уравнений	232
4.3.2. Аналоговое моделирование нестацио- нарной фильтрации	234
4.3.3. Исходные представления о схемах чис- ленного моделирования нестационарной фильтрации на ЭВМ	239
Контрольные вопросы	244
Глава 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПЫТНО- ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	246
5.1. Особенности задач, связанных с интерпрета- цией опытно-фильтрационных исследований	246

5.2. Общая гидродинамическая характеристика опытных откачек и типизация условий опробования	251
5.2.1. Изменения в подземной гидростатике и гидродинамике при опытной откачке	251
5.2.2. Особенности фильтрационных процессов при опытных откачках	254
5.2.3. Основные расчетные схемы	256
5.3. Специфика геофильтрационных процессов в различных типовых условиях проведения опытных опробований.....	263
5.3.1. Схема II-1 — пласт с перетеканием.....	264
5.3.2. Схема II-2 — напорный гетерогенный пласт	267
5.3.3. Схема III-1 безнапорный пласт двух- слойного строения	271
5.3.4. Схема III-2 — однородный безнапор- ный пласт	273
5.3.5. О некоторых гидрогеомеханических эф- фектах	275
5.3.6. Особенности фильтрационного процес- са при откачках из планово-ограничен- ных и планово-неоднородных пластов	277
5.4. Анализ влияния технических факторов на ре- зультаты опытно-фильтрационных работ.....	280
5.4.1. Значение несовершенства центральной скважины по степени вскрытия пласта	280
5.4.2. Значение несовершенства наблюдатель- ных скважин по степени вскрытия пласта	282
5.4.3. Значение непостоянства расхода откач- ки и объема воды в стволе центральной скважины	283
5.4.4. Роль скин-эффекта центральной сква- жины	284

5.4.5. Инерционность наблюдательных скважин.....	287
5.5. Принципы и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ.....	288
5.5.1. Способы количественной обработки опытных данных	289
5.5.2. Принципы диагностики данных ОФР	295
Контрольные вопросы	301
Глава 6. ТЕОРИЯ МИГРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЛАГОПЕРЕНОСА	304
6.1. Конвективный перенос в подземных водах	306
6.1.1. Общее представление о конвекции в фильтрационном потоке.....	306
6.1.2. Конвекция разновесомых жидкостей	308
6.1.3. Конвективный перенос, осложненный физико-химическими процессами	314
6.1.4. Задача об определении скорости фильтрации скважинной резистивиметрией (термометрией)	322
6.2. Диффузионно-дисперсионные процессы.....	324
6.2.1. Молекулярная диффузия и гидродисперсия	324
6.2.2. Задача о диффузионном переносе в разделяющем слое	328
6.3. Конвективно-дисперсионный перенос в однородных водоносных пластах.....	331
6.3.1. Фундаментальное решение	331
6.3.2. Задача о запуске пакета индикатора	335
6.4. Особенности массопереноса в гетерогенных водоносных системах	337