

ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В.А. МИРОНЕНКО

В.Г. РУМЫНИН

ПРОБЛЕМЫ ГИДРО- ГЕОЭКОЛОГИИ

том 1

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГЕОМИГРАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ**

Издание 2-е, стереотипное

МОСКВА

**ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

2 0 0 2



Издание осуществлено при поддержке Российского Фонда фундаментальных и прикладных исследований по проекту 98-05-78006

Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. В 3-х т. Т. 1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. — 611 с. ISBN 5-7418-0123-4

В монографии рассматриваются теоретические основы миграционных процессов, разрабатываются концептуальные (на базе исследования краевых задач) модели массопереноса в типовых гетерогенных водоносных системах с учетом физико-химических преобразований вещества; обосновываются эффективные алгоритмы решения миграционных задач методами математического (численного) моделирования; излагаются методы планирования и расчетные схемы интерпретации полевых индикаторных опробований; развиваются количественные подходы к постановке и обработке данных мониторинга качества подземных вод на участках их техногенного загрязнения; обосновываются модели для прогнозирования миграции высокоплотных солевых растворов, нефтепродуктов, радионуклидов и некоторых других веществ и компонентов, представляющих угрозу для подземной гидросферы на участках загрязнения; оценивается эффективность различных методов реабилитации качества подземных вод; обосновываются водоохранные мероприятия; рассматриваются особенности практической реализации предлагаемых исследований авторов на различных объектах (горнодобывающие районы, водозаборы подземных вод, участки складирования высокотоксичных, в том числе радиоактивных, отходов, атомные электростанции и др.).

УДК 622:502

ISBN 5-7418-0123-4

© В.А. Мироненко, В.Г. Румынин, 1999

© Издательство МГГУ, 1999

© В.А. Мироненко, В.Г. Румынин, 2002

© Издательство МГГУ, 2002

Содержание

ТОМ 1

Предисловие.....27

Введение.....29

ЧАСТЬ 1 | Гидродинамические основы теории массопереноса
в подземных водах и породах зоны аэрации.....34

**Глава 1. Основные физические механизмы
массопереноса в водоносных породах
и его математическая формализация36**

1.1. Формы переноса и рассеяния вещества36

1.1.1. Конвективный перенос36

1.1.2. Диффузионный перенос43

1.1.3. Дисперсионный перенос45

1.1.4. Осмос и наведенные им процессы.....53

1.1.5. Основные представления о миграции
многофазных жидкостей.....59

1.2. Базовые уравнения и краевые условия для мате-
матического описания миграционных процессов..... 64

1.2.1. Общее уравнение массопереноса и его
основные дифференциальные представления 64

1.2.2. Уравнения миграционного потока перемен-
ной плотности 68

1.2.3. Краевые условия 71

Глава 2. Анализ физико-математических моделей миграции в гомогенных водоносных породах 78

- 2.1. Расчетная схема поршневого вытеснения 79**
- 2.2. Квазиодномерная расчетная схема продольной микродисперсии 82**
- 2.3. Пространственные модели миграции в гомогенных водоносных породах 92**
 - 2.3.1. Поперечная микродисперсия в одномерном фильтрационном потоке 92**
 - 2.3.2. Особенности пространственного рассеяния в условиях неоднородного фильтрационного поля 103**

Глава 3. Анализ физико-математических моделей миграции (макродисперсии) в гетерогенных водоносных комплексах 117

- 3.1. Модели миграции в упорядоченного стратифицированных пластах 121**
 - 3.1.1. Двухслойные системы 122**
 - 3.1.2. Многослойные водоносные пласты 131**
 - 3.1.3. О значимости вертикальной конвекции в водоносных и разделяющих пластах 137**
- 3.2. Комплексы трещиновато-пористых пород 141**
 - 3.2.1. Принципиальные модели массопереноса ... 143**
 - 3.2.2. О параметрической тождественности расчетных моделей миграции 151**

3.2.3. Об аналогии между процессами массо- и теплопереноса	153
3.2.4. Некоторые обобщенные решения и их анализ.....	154
3.3. Анализ миграции в неупорядоченно-неоднородных системах на базе стохастических моделей макродисперсии	157
3.3.1. Общие представления о стохастических моделях	157
3.3.2. Анализ принципиальных результатов изучения трехмерной макродисперсии в неоднородных средах.....	162
3.3.3. Стохастический анализ некоторых частных задач миграции в макронеднородных средах	169
3.3.3.1. Макродисперсия при площадной инфильтрации.....	169
3.3.3.2. Макродисперсия при плотностной конвекции.....	172
3.4. Макродисперсия в стохастически неоднородных средах с двойной пористостью	176
3.5. Основные выводы теоретического анализа	179
 Глава 4. Основные представления о переносе влаги и загрязнений через зону аэрации.....	192
 4.1. Теоретические основы влагопереноса в горных породах при неполном водонасыщении	193
4.1.1. Общая энергетическая характеристика процесса влагопереноса	193
4.1.2. Закон движения влаги.....	197

4.1.3. Влияние гетерогенности ненасыщенных сред на влагоперенос	203
4.1.4. Математические основы вертикального влагопереноса	210
4.2. Основные представления о массопереносе в не- насыщенных грунтах.....	215
4.2.1. Перенос в гомогенных грунтах.....	215
4.2.2. Особенности массопереноса в ненасыщен- ных гетерогенных средах.....	219
 ЧАСТЬ 2 Гидрогеохимические основы миграции подземных вод.....	 226
 Глава 5. Гидрогеохимическое описание условий и процессов, контролирующих качественный состав подземных вод	 226
 5.1. Естественный гидрогеохимический фон и его роль в проявлениях буферных свойств водонос- ной системы.....	 227
5.1.1. Общие сведения о качественном составе подземных вод	227
5.1.2. Определяющие минеральные равновесия ..	231
5.2. Основные процессы физико-химического пре- образования вещества в подземных растворах (без учета фильтрации)	236
5.2.1. Межфазовые сорбционные и ионообменные взаимодействия.....	237
5.2.1.1. Равновесная сорбция (адсорбция)	237

5.2.1.2. Модель поверхностного комплексообразования.....	246
5.2.1.3. Равновесный ионный обмен	248
5.2.1.4. Модель кинетики сорбционных и ионообменных взаимодействий	255
5.2.2. Термодинамика и кинетика процессов растворения-осаждения	257
5.2.3. Гомогенные (внутрифазовые) взаимодействия.....	262
5.2.3.1. Комплексообразование	262
5.2.3.2. Исходные представления о коллоидных формах переноса загрязнителей.....	264
5.2.3.3. Деструкция химических соединений	267
 Глава 6. Миграционные модели физико-химических трансформаций	281
 6.1. Миграция активных компонентов в гомогенных породах.....	281
6.1.1. Сорбционные и ионообменные взаимодействия.....	281
6.1.1.1. Равновесная сорбция	281
6.1.1.2. Особенности проявления кинетики сорбционных процессов	286
6.1.1.3. Ионообменные взаимодействия в потоке подземных вод	288
6.1.2. Закономерности миграции компонентов, участвующих в процессах растворения-осаждения	292
6.1.2.1. Простейшие расчетные схемы.....	293

6.1.2.2. Процессы равновесного растворения-осаждения вещества применительно к растворам сложного состава на подвижных гидрогеохимических барьерах	299
6.1.3. Влияние внутрифазных реакций на интенсивность массопереноса и характер концентрационных фронтов.....	309
6.1.3.1. Расчетные схемы, учитывающие роль комплексообразования в сорбционных и ионообменных процессах	309
6.1.3.2. Модель миграции радиоактивных растворов, содержащих коллоидные частицы	315
6.1.3.3. Деструкция мигрантов.....	318
6.2. Модели миграции неконсервативных компонентов в гетерогенных водоносных системах.....	325
6.2.1. Сорбция в стратифицированных пластах ...	326
6.2.2. Сорбция в стохастически неоднородных системах	330
6.2.3. Миграция в трещиновато-пористых породах.	333
6.2.3.1. Особенности межфазовых взаимодействий.....	333
6.2.3.2. Коллоидный транспорт вещества в трещиновато-пористых породах	335
6.2.3.3. Описание деструкции вещества в трещиновато-пористых породах	340
6.2.3.4. Обобщенный аналитический подход к исследованию миграции в гетерогенных системах.....	344

ЧАСТЬ 3	Численное моделирование процессов загрязнения подземных вод	352
Глава 7. Анализ принципов и методов численного моделирования процессов загрязнения подземных вод		353
7.1. Общие представления о численных методах решения задач массопереноса и принципах постро- ения численных схем		354
7.1.1. Краткая характеристика методов конечных разностей и конечных элементов		354
7.1.2. Построение поля напоров		356
7.1.3. Свойства конечно-разностных аппрокси- маций одномерных уравнений переноса		357
7.1.4. Поперечная численная дисперсия		365
7.1.5. Аппроксимация временной производной ...		367
7.1.6. Особенности задания граничных условий ..		369
7.1.7. Принципы решения матричных уравнений .		370
7.1.8. Основы метода характеристик и метода случайных блужданий		373
7.1.9. Обобщающие выводы		375
7.2. Принципы построения численных алгоритмов для решения задач миграции подземных вод		380
7.2.1. Расщепление дифференциальных опера- торов в уравнениях переноса		380
7.2.2. Схема аппроксимации составляющих пе- реноса		382
7.3. Специфика численных моделей и схем при ана- лизе различных механизмов миграции		392