

**РЕДАКЦИОННЫЙ
С О В Е Т**

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

В.В. КУРЕХИН

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.В. ХРОНИН

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*ректор МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик РАН

профессор

академик РАН

академик РАН

ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

**В.А. МИРОНЕНКО
В.Г. РУМЫНИН**

ПРОБЛЕМЫ ГИДРО- ГЕОЭКОЛОГИИ

**том 3 (книга 1)
ПРИКЛАДНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

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. 3 (кн. 1). Прикладные исследования. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. — 312 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 3, книга 1

Введение	23
ЧАСТЬ 9 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	29
Глава 24. Анализ мероприятий по защите и ре- билитации качества подземных вод	31
24.1. Профилактические мероприятия	32
24.1.1. Профилактика на участках размещения поверхностных источников загрязнения подземных вод	33
24.1.2. Профилактика в пределах водоносных пластов	50
24.2. Активные мероприятия	52
24.2.1. Активные мероприятия вблизи поверхностных источников загрязнения	53
24.2.2. Локализация и откачка загрязненных пластовых вод	58
24.2.3. Сброс и утилизация откачиваемых загрязненных дренажных вод	62
24.2.4. Восстановление качества загрязненных подземных вод	68
Глава 25. Концепция контролируемого загрязнения подземных вод.....	77
25.1. Основные исходные положения концепции	77

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. 3 (кн. 1). Прикладные исследования. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. — 312 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 водоохраные 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 3, книга 1

Введение	23
ЧАСТЬ 9 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	29
Глава 24. Анализ мероприятий по защите и реа- билитации качества подземных вод	31
24.1. Профилактические мероприятия	32
24.1.1. Профилактика на участках размещения поверхностных источников загрязнения подземных вод	33
24.1.2. Профилактика в пределах водоносных пластов	50
24.2. Активные мероприятия	52
24.2.1. Активные мероприятия вблизи поверхностных источников загрязнения	53
24.2.2. Локализация и откачка загрязненных пластовых вод	58
24.2.3. Сброс и утилизация откачиваемых загрязненных дренажных вод	62
24.2.4. Восстановление качества загрязненных подземных вод	68
Глава 25. Концепция контролируемого загрязнения подземных вод.....	77
25.1. Основные исходные положения концепции	77

25.2. Пути реализации концепции контролируемого загрязнения подземных вод при проектировании, строительстве и эксплуатации горных предприятий	86
25.3. Стратегия реабилитации подземных вод на загрязненных территориях	91
25.3.1. Постановка проблемы	91
25.3.2. Терминология и формулировка основных концептуальных положений	95
25.3.3. Достоинства предложенной концепции	99
25.3.4. Варианты реализации концепции	103
Глава 26. Особенности геомиграционных процессов и гидрогеоэкологических исследований на участках реабилитации подземных вод	108
26.1. Анализ специфики процессов, подлежащих оценке и изучению	110
26.1.1. Откачка и вытеснение загрязненных вод ...	112
26.1.2. Очистка <i>in situ</i>	117
26.2. Особенности опытных работ и наблюдений в зонах реабилитации.	126
26.2.1. Краткая характеристика используемых подходов и методов	126
26.2.2. Приложение специальных методов исследований на участках реабилитации	132
26.2.2.1. Опробование почвенного газа на участках нефтяного загрязнения	132
26.2.2.2. Использование метода белковой индикации	137
26.2.2.3. Анализ условий применимости геофизических методов при изучении ореолов загрязнения подземных вод	140

26.3. Модельный анализ условий реабилитации	153
26.3.1. Решение прямых («прогнозных») задач	154
26.3.2. Решение обратных (эпигнозных) задач	158
26.3.3. Исследование оптимизационных проблем .	164
Глава 27. О концепции государственного гидро- геоэкологического мониторинга России	179
27.1. Основные цели и ориентиры ГЭМР	179
27.2. Пространственные структурные элементы и временные рамки ГЭМР	183
27.3. Постановка, проведение и интерпретация на- блюдений	186
27.3.1. Определяемые показатели (ОП)	186
27.3.2. Состав наблюдательной сети и виды наблюдений	188
27.3.3. Пространственное распределение пунктов стационарной режимной сети	189
27.3.4. Интерпретация и представление результа- тов наблюдений	192
27.4. Гидрогеоэкологический мониторинг и геоэко- логическая съемка	194
27.5. Общий порядок реализации программы ГЭМР и основные выводы	198
ЧАСТЬ 10 ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	205
Глава 28. Требования к проектам, задачи и виды гидрогеологических работ по оценке загрязнения подземных вод	208

28.1. Общая характеристика техногенных изменений качества подземных вод в горнодобывающих районах	208
28.2. Основные требования к проектам горных предприятий в связи с охраной подземных вод от загрязнения	211
28.3. Требования к информационному обеспечению при решении задач охраны подземных вод от загрязнения	214
28.4. Гидрогеологические работы в связи с решением проблемы охраны подземных вод от загрязнения	219
28.4.1. Работы на стадии разведки	219
28.4.2. Работы в строительно-эксплуатационный период	225
28.5. Состав и ориентировочные объемы специализированных опробований при разведке месторождений в типовых условиях	228
Глава 29. Изучение и прогноз техногенных изменений качества подземных вод под влиянием хвостохранилищ и горных отвалов рудных комбинатов	236
29.1. Краткая характеристика техногенных изменений качества подземных вод в изучаемых районах	236
29.1.1. Губкинского-Стойленский железорудный район КМА	236
29.1.2. Ковдорское железорудное месторождение	240
29.1.3. Кингисеппское месторождение фосфоритов	242
29.1.4. Хвостохранилище Коршуновского ГОКа	243
29.2. Анализ и изучение режима подземных вод на участках их загрязнения	244
29.2.1. Детализация условий фильтрации промстоков из хвостохранилищ	244

29.2.1.1. Лебединский ГОК	244
29.2.1.2. Коршуновский ГОК	246
29.2.2. Закономерности гидрохимического преобразования слабоминерализованных проток на участках хвостохранилищ	250
29.2.2.1. Лебединский ГОК	251
29.2.2.2. Коршуновский ГОК	255
29.2.2.3. Ковдорский ГОК	256
29.2.3. Влияние горных отвалов и атмосферного загрязнения поверхности на качество дренажных вод Ковдорского месторождения.....	256
29.3. Специальные опытные работы на участке хвостохранилища Лебединского ГОКа	260
29.3.1. Предварительные лабораторные и геологоструктурные исследования	261
29.3.2. Анализ результатов опытно-миграционных опробований	262
29.3.3. Результаты опробования осушенной зоны мело-мергельной толщи наливками в шурфы и скважины.....	265
29.3.4. Апробация методов, направленных на повышение опытных наливов в шурфы	270
29.4. Прогноз процессов загрязнения подземных вод в Губкинско-Стойленском железорудном районе	274
29.4.1. Цели прогноза и элементы предварительной схематизации.....	274
29.4.2. Выбор исходных параметров	277
29.4.3. Прогнозные оценки.....	277

Глава 30. Изучение и прогноз процессов засоления подземных вод на участке шламохранилища соледобывающего предприятия	285
30.1. Краткая характеристика техногенных изменений качества подземных вод в Соликамско-Березниковском горно-промышленном районе	285
30.2. Изучение плановой геометрии ореолов засоления методами поверхностной геофизики	289
30.3. Изучение параметров миграции и физико-химического преобразования проток по данным полевых и лабораторных экспериментов	292
30.3.1. Общая характеристика исследований	292
30.3.2. Лабораторное изучение ионообменных процессов	293
30.3.3. Описание полевых индикаторных опытов и результаты их интерпретации	295
30.4. Изучение противифльтрационных свойств глинистых экранов	301
30.5. Особенности количественной интерпретации режимных наблюдений и гидрогеохимических прогнозов	304
30.5.1. Обоснование расчетной модели	304
30.5.2. Анализ процессов ионного обмена	309

ТОМ 3, книга 2

ЧАСТЬ 11	ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ДРЕНА-	
	ЖА, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДЗЕМНОГО ЗА-	
	ХОРОНЕНИЯ ГЛУБОКИХ РАССОЛОВ ПРИ	
	ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ	313
	Глава 31. Изучение и прогноз изменения качест-	
	ва дренажных вод при протягивании глубинных	
	рассолов	314
31.1. Исследование процессов субвертикальной миг-		
рации рассолов на Коршуновском железорудном		
месторождении		314
31.1.1. Краткая характеристика геолого-		
гидрогеологических условий месторождения		314
31.1.2. Характеристика системы осушения		
месторождения и анализ ее эффективности		317
31.1.3. Естественный и нарушенный		
гидрохимический режим подземных вод района		321
31.1.3.1. Естественная гидрохимическая		
зональность		321
31.1.3.2. Анализ условий формирования		
химического состава дренажных вод		324
31.1.4. Анализ результатов интерпретации опыт-		
ных опробований и режимных гидродинамичес-		
ких наблюдений		328
31.1.4.1. Основные результаты опытных гидроге-		
ологических опробований глубоких горизонтов		329
31.1.4.2. Оценка суммарной проводимости		
водоносной толщи по данным эксплуатацион-		
ного водопонижения		332

31.1.6. Исследование и прогнозирование миграционного процесса на математических моделях ...	337
31.1.6.1. Физико-математическое обоснование выбора моделей	337
31.1.6.2. Описание математической модели геофильтрации	346
31.1.6.3. Описание миграционной модели	348
31.1.6.4. Результаты решения обратных гидрогеологических задач и калибрация математической модели	349
31.1.6.5. Анализ чувствительности миграционного процесса	352
31.1.6.6. Результаты миграционных прогнозов	355
31.1.6.7. Влияние раздельного водоотбора на качество дренажных вод	356
31.1.6.8. Выводы	358
31.2. Анализ данных режимных гидрогеохимических наблюдений на Южно-Белозерском месторождении	360
31.2.1. Краткая характеристика изменения качества подземных и дренажных вод	360
31.2.2. Характер взаимосвязи гидрохимических изменений с подземной гидродинамикой	362
31.2.3. Количественная интерпретация режимных наблюдений	366
31.3. О характере засоления дренажных вод на Яковлевском железорудном месторождении	368
31.3.1. Гидрогеологические и горно-геологические условия месторождения	368
31.3.2. Основные выводы по результатам опытно-фильтрационных работ на месторождении	372
31.3.3. Гидрогеохимическая зональность и режим подземных вод глубоких горизонтов	374

31.3.3.1. Особенности региональной гидрогеохимии	374
31.3.3.2. Анализ результатов гидрогеохимических наблюдений за нарушенным режимом подземных вод	377
31.3.4. Общие подходы к обоснованию прогнозных моделей	378
31.4. Некоторые выводы и рекомендации по обоснованию расчетных (прогнозных) моделей	380
Глава 32. Гидрогеологические исследования в связи с сооружением противифльтрационной завесы на карьере алмазоносной трубки «Мир»	
32.1. Краткая геолого-гидрогеологическая, геокриогенная и горно-техническая характеристика объекта	385
32.2. Характеристика источников загрязнения и загрязняющих компонентов	388
32.3. Оценка эффективности строящейся ПФЗ	391
32.4. Анализ возможностей оценки качества ПФЗ опытными опробованиями	399
32.4.1. Одиночные гидродинамические опробования	399
32.4.2. Кустовые гидродинамические опробования ..	402
32.4.3. Индикаторные опробования	404
32.4.4. О путях усовершенствования гидродинамических опробований по скважинам тампонажного ряда	406
32.5. Особенности опытных опробований на участках сооружаемой (незамкнутой) ПФЗ	409
32.6. Анализ результатов полевых исследований, проведенных при строительстве ПФЗ	417

32.6.1. Обоснование исходной модели	417
32.6.2. Анализ результатов опытных опробований и режимных наблюдений на ключевом участке ...	419
32.6.3. Оценка эффективности строящейся ПФЗ по данным режимных наблюдений в районе карьерного поля	422
32.7. Разработка способа повышения эффективно- сти строящейся ПФЗ	427
32.7.1. Краткая характеристика предлагаемого способа	428
32.7.2. Теоретическое (расчетное) обоснование ...	431
32.7.3. Примерная технологическая схема проведения работ по ледовому тампонажу	434
32.8. Дополнительные рекомендации по созданию режимной сети ПФЗ	436
32.9. Изучение водоупорных свойств пород, залега- ющих в подошве метеоро-ичерского водоносного комплекса	439
32.10. Краткое заключение	443
Глава 33. Гидрогеологические исследования на участке подземного захоронения дренажных рас- солов алмозоносной трубки «Удачная»	
33.1. Краткая геолого-гидрогеологическая, геокрио- генная и горно-техническая характеристика объекта	447
33.2. Общая оценка условий утилизации дренажных рассолов	451
33.3. Изучение условий захоронения рассолов в ММП на Октябрьском участке	453
33.3.1. Особенности геолого-гидрогеологического строения ММП на участке захоронения	455

33.3.2. Исходная дифференциация фильтрационных свойств ММП на основе опытных опробований и данных о приемистости скважин	458
33.3.3. Опытная оценка изменений фильтрационных свойств ММП под влиянием рассолов	460
33.3.4. Оценка емкостных миграционных параметров ММП	464
33.4. Анализ результатов режимных наблюдений за миграцией рассолов	467
33.4.1. Общая характеристика распространения рассолов в ММП	467
33.4.2. Анализ режимных гидродинамических и гидрохимических наблюдений в ВВК	471
33.5. Обобщающие выводы и рекомендации	477
33.5.1. Принципиальная схема миграционного процесса	477
33.5.2. Заключительная оценка ситуации на участке захоронения	481
ЧАСТЬ 12 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ХОЗЯЙСТ- ВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ	485
Глава 34. Общие вопросы гидрогеологического обоснования зон санитарной охраны водозаборов подземных вод	485
34.1. Загрязнение и его критерии	486
34.2. Типы загрязняющих растворов	489
34.3. Типы источников загрязнения подземных вод	491
34.4. Типизация водозаборов по условиям возможного загрязнения и предпосылки к выбору расчетных схем	492

34.5. Общие нормативные требования и критерии к расчетному обоснованию ЗСО	500
34.6. О концептуальных подходах к обоснованию зон санитарной охраны при проектировании подземных питьевых водозаборов на техногенно нагруженных территориях	505
34.7. Об оценках защищенности-уязвимости подземных вод	509
Глава 35. Проблема загрязнения при использовании дренажных вод в хозяйственно-питьевых целях	516
35.1. Общие подходы к проблеме	516
35.1.1. Особенности обоснования дренажных систем в свете поставленной проблемы	517
35.1.2. Особенности оценки эксплуатационных запасов дренажных вод	520
35.2. О санитарной охране водозаборов-дренажей....	522
35.3. Анализ возможностей и опыта использования дренажных вод в хозяйственно-питьевых целях на конкретных объектах	527
35.3.1. Опыт использования дренажных вод Губкинско-Стойленского горнорудного района КМА.	527
35.3.2. О перспективах использования дренажных вод Коршуновского, Южно-Белозерского и Яковлевского железорудных месторождений	533
Глава 36. Исследование процессов, контролирующих загрязнение подземных вод на объектах хозпитьевого назначения	536
36.1. Комплексное исследование формирования качества и запасов подземных вод на водозаборе г. Кировска	536

36.1.1. Краткие сведения о гидрогеологических условиях района	536
36.1.2. Гидрогеохимический анализ	539
36.1.3. Идентификация источников загрязнения подземных вод с помощью специальных методов «ландшафтной» индикации	542
36.1.4. Анализ влияния горных работ на гидродинамический режим подземных вод	545
36.2. Исследование миграционных процессов в связи с оценкой санитарной защищенности зон родниковой разгрузки подземных вод (на примере юго-восточных районов Татарии)	547
36.2.1. Исходные положения	547
36.2.2. Профильные модели фильтрации в слоистых толщах, получающих площадное инфильтрационное питание	550
36.2.2.1. Аналитическая модель полуограниченного пласта	550
36.2.2.2. Простейшая модель для оценки влияния гидродинамического несовершенства природных контуров разгрузки подземных вод	556
36.2.2.3. Исследование особенностей геофильтрационного процесса на численных моделях	557
36.2.3. Профильные модели миграции подземных вод ...	560
36.2.3.1. Аналитическая модель и ее приложение к оценке чувствительности процесса по отдельным показателям	560
36.2.3.2. Анализ миграционного процесса на математических моделях	565
36.2.4. Выводы	569

ЧАСТЬ 13	ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ И НА УЧАСТКАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДАМИ	574
	Глава 37. Изучение засоления подземных вод на нефтепромыслах (на примере Юго-Востока республики Татарстан)	574
	37.1. Общая гидрогеоэкологическая ситуация в регионе ..	574
	37.2. Современное состояние подземных вод	579
	37.3. Разведка типичного участка загрязнения подземных вод	582
	37.3.1. Условия проведения, задачи и виды работ	582
	37.3.2. Опробование водоносных горизонтов и родников	584
	37.3.3. Электроразведочные наблюдения	586
	37.3.4. Результаты численного моделирования	594
	37.4. Принципы организации мониторинга подземных вод	596
	37.4.1. Характеристика режимной сети	597
	37.4.2. Принципы создания автоматизированной системы гидрогеологического мониторинга (АСГМ)	600
	37.5. О восстановлении качества загрязненных подземных вод	604
	Глава 38. Исследования и мероприятия на участках загрязнения подземных вод углеводородами	610
	38.1. Особенности миграции углеводородов	611
	38.1.1. УВ как несмешивающие с водой жидкости в горных породах	611

38.1.2. Влияние гетерогенности и неоднородности на миграцию УВ	615
38.1.3. Значение процессов растворения и испарения	617
38.1.4. Значение процессов сорбции и биodeградации	624
38.1.5. Значение колебаний уровня грунтовых вод	629
38.2. Изучение подземных скоплений УВ в полевых условиях	630
38.2.1. Наблюдения и опробования по скважинам	630
38.2.2. Изучение почвенного газа	634
38.2.3. Особенности индикаторных исследований	635
38.2.4. Геоботанические и фотографические методы	637
38.3. Методы очистки пластов, загрязненных УВ	637
38.3.1. Откачка загрязнений	638
38.3.2. Вытеснение и растворение в возмущенном потоке	639
38.3.3. Методы удаления остаточных УВ, аналогичные применяемым для стимуляции нефтеотдачи	641
38.3.4. Извлечение азированием	642
38.3.5. Биологические методы очистки	643
ЧАСТЬ 14 ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	651
Глава 39. Исследования загрязнения подземных вод на участках приповерхностного складирования (хранения) радиоактивных отходов	651
39.1. Общие представления о радиоактивных отходах ..	651

39.2. Особенности математического анализа процессов миграции радионуклидов и параметрическая обусловленность моделей	655
39.2.1. О надежности гидродинамических моделей при описании низких значений относительных концентраций	655
39.2.2. Об учете физико-химических взаимодействий	658
39.3. Модельные и экспертные оценки гидрогеологической ситуации на участке складирования радиоактивных отходов «Озеро Карачай»	670
39.3.1. Общие сведения об источнике загрязнения и характере техногенного воздействия на подземные воды	670
39.3.1.1. Водный баланс водоема	671
39.3.1.2. Химический состав РАО	673
39.3.1.3. Закономерности распространения загрязняющих веществ в подземных водах	675
39.3.2. Обобщение материалов геофильтрационных опробований и предварительные модельные оценки	680
39.3.2.1. Обоснование схемы геофильтрационной неоднородности	680
39.3.2.2. Региональная модель	686
39.3.3. Общая концепция модельного анализа	690
39.3.4. Исследование формирования потоков переменной плотности	693
39.3.4.1. Предварительное тестирование программы HST3D	693
39.3.4.2. Двумерная профильная модель	696
39.3.4.3. Трехмерная модель потока переменной плотности	701

39.3.5. Экспертная оценка гидрогеологической ситуации	704
39.4. Анализ радиоактивного загрязнения подземных вод в районе расположения хранилищ твердых РАО ..	709
39.4.1. Гидрогеологическая характеристика участка и общие сведения об источниках загрязнения подземных вод	710
39.4.2. Фоновые концентрации и описание полей загрязнения подземных вод	713
39.4.3. Детализация гидрогеологических условий площадки и расчетные миграционные параметры .	716
39.4.3.1. Описание разреза по скважинам и результаты тритиевого опробования	716
39.4.3.2. Лабораторное изучение сорбционной способности горных пород	717
39.4.3.3. Изучение коэффициентов сорбционного распределения <i>in situ</i>	721
39.4.4. Построение гидрогеологических моделей и их калибрация	723
39.4.5. Прогнозные оценки	725
Глава 40. Гидрогеоэкологический анализ сценариев запроектных аварий на АЭС (применительно к проектируемым объектам)	732
40.1. Постановка проблемы и гидрогеологическая характеристика объектов детальных исследований	732
40.1.1. Основные представления об авариях на АЭС и характере их воздействий на подземные воды	734
40.1.2. Основные сведения о гидрогеологических условиях площадок Кольской и Дальневосточной АЭС	736

40.1.2.1. Кольская АЭС	736
40.1.2.2. Дальневосточная АЭС	739
40.1.2.3. Сопоставительный анализ естественной защищенности подземных вод на участках детальных исследований	742
40.2. Оценка воздействия проектируемых АЭС на подземные воды прилежащих регионов	743
40.2.1. Параметры, характеризующие воздейст- вие на подземную гидросферу при различных сценариях аварий на реакторных установках	743
40.2.2. Примеры гидрогеоэкологических оценок	746
40.2.2.1. Кольская АЭС (III очередь)	746
40.2.2.1.1. Анализ данных опытных исследова- ний и наблюдений	746
40.2.2.1.2. Прогнозные оценки	752
40.2.2.2. Дальневосточная АЭС	757
40.2.2.2.1. Изучение диффузионной проницае- мости породных блоков	757
40.2.2.2.2. Модельная детализация фильтрацион- ной картины	759
40.2.2.2.3. Основные характеристики миграцион- ной модели и результаты прогнозов	761
40.2.3. Некоторые обобщения	765
Заключение	769

ВВЕДЕНИЕ

Декларируемая Хартией ООН стратегия устойчивого развития человечества предполагает экологически сбалансированное использование и охрану природных ресурсов. Среди последних первостепенную роль играют водные ресурсы* и, в частности, запасы подземных вод. Поэтому охрана и рациональное использование подземных вод рассматриваются сейчас как важнейшее условие устойчивого развития, причем все больший упор здесь делается не столько на количественный, сколько на качественный аспект: подземные воды представляют интерес, лишь когда их свойства удовлетворяют определенным показателям, которые часто оказываются весьма чувствительными к антропогенной нагрузке — функционированию различных источников загрязнения.

С максимальной наглядностью проблема сохранения достаточно высокого качества подземных вод иллюстрируется практикой эксплуатации питьевых водозаборов бывшего СССР: если в части цифр эксплуатационных запасов месторождений подземных вод прогнозные оценки подтверждаются в подавляющем большинстве случаев, то по качеству вод они оказываются более-менее удовлетворительными лишь в 60–70% от числа проанализированных питьевых водозаборов (по данным Л.С.Язвина и Б.В.Боревского).

Еще хуже обстоят дела в тех многочисленных ситуациях, когда охране от загрязнения подлежат водоносные структуры, не используемые в настоящее время для питьевого водоснабжения: примеры недопустимого — с точки зрения экологических стандартов — загрязнения подземных вод можно легко обнаружить практически в любой

* Все чаще высказываются даже опасения, что именно водные, а не энергетические ресурсы окажутся в ближайшее время мощным источником международных конфликтов.

сфере промышленной и сельскохозяйственной деятельности, так или иначе связанной с техногенной нагрузкой на подземную гидросферу; здесь достаточно упомянуть районы горного производства или интенсивного земледелия, участки наземного и подземного хранения токсичных или радиоактивных отходов, индустриальные районы и городские агломерации, и т.д.

Особенно остро стоит эта проблема в горном деле, где она приобрела к тому же двусмысленный характер: с одной стороны, интенсивное загрязнение подземных вод (ЗПВ) запрещается водоохраным законодательством, а с другой — оно часто оказывается фактически неизбежным следствием запроектированных горных разработок или принятой технологии обогащения полезного ископаемого. Как показывает отечественный и зарубежный опыт освоения месторождений, вероятность ЗПВ остается довольно высокой даже в тех ситуациях, когда соответствующие проектные проработки дают благоприятный экологический прогноз. Более того, на практике часто принимаются технологические решения, априорно недопустимые с позиций охраны от ЗПВ. Ситуацию в целом можно охарактеризовать следующим образом: со всех сторон раздаются призывы охранять подземные воды, но эти призывы не подкреплены ни требуемой информацией, ни квалификацией инженерного персонала, ни материальной его заинтересованностью в соблюдении водоохранных требований.

Описанная ситуация с водоохранными мерами достаточно характерна и для других вышеупомянутых сфер хозяйственной деятельности. Так, явно недостаточное внимание к профилактическим мерам оборачивается, в конечном итоге, недопустимым ЗПВ с последующей необходимостью весьма дорогостоящих мероприятий активного характера. При этом, несмотря на исключительно высокие в ряде стран (США, Германия и др.) затраты, реабилитация загрязненных подземных вод чаще всего не

достигает поставленных целей. Можно утверждать, что накопленный в этих странах опыт реабилитационных мероприятий, скорее свидетельствует о необходимости внесения принципиальных изменений в стратегию восстановления качества загрязненных вод.

Отмеченные недостатки и послужили в какой-то мере основанием для появления данной работы, которая является, по существу, практически направленным обобщением гидрогеологических — теоретических и методических — основ охраны подземных вод от загрязнения, а также отражением опыта апробации и внедрения соответствующих научных разработок на типовых объектах. Своевременность постановки такого рода исследований, начатых, в частности, в ЛГИ около 25 лет назад, их эффективность и практическая значимость всецело подтверждаются анализируемым опытом.

При выборе районов проведения детальных гидрогеологических исследований авторы стремились охватить по возможности широкий круг условий как с позиций характерных типов водоносных структур, так и с точки зрения разнообразия типовых условий техногенного воздействия на подземные воды. С другой стороны, учитывая сложность проблемы в целом и поисковый характер данных исследований, важно было выбрать объекты с наиболее высокой степенью изученности исходной гидрогеологической обстановки, так чтобы неопределенность представлений о ней не оказалась главным препятствием для апробации и практической реализации соответствующих научно-методических разработок. Вполне естественно поэтому, что основное внимание уделялось объектам (в первую очередь, в районах месторождений твердых полезных ископаемых), прошедшим не только основные стадии гидрогеологической разведки, но и начальный эксплуатационный период (который в той или иной степени уже нашел отражение в изменениях естественного режима подземных вод). С этих позиций достаточно предста-

вительными и характерными являются ряд горнодобывающих предприятий — Лебединский, Стойленский, Коршуновский ГОКи, калийные комбинаты Соликамско-Березниковского региона, предприятия АО «Татнефть» и др. Отдельную группу составили объекты, применительно к которым изучались последствия или опасность радионуклидного ЗПВ — п/о «Маяк», комбинат «Сосновый Бор», Кольская и некоторые другие АС*.

Типовой по ряду признаков характер объектов, которые авторы рассматривают в качестве опытно-эксплуатационных полигонов, позволит, очевидно, распространить анализируемый опыт исследований и на другие объекты, в том числе находящиеся в стадии проектирования или подготавливаемые к эксплуатации.

Методологическим фундаментом проводившихся исследований послужила разработанная авторами концепция контролируемого ЗПВ, органично увязывающая требования эффективного освоения инженерных объектов с задачами охраны, комплексного и рационального использования водных ресурсов прилежащих районов в условиях существенно неопределенной информации о возможных последствиях влияния техногенеза на окружающую среду.

Концепция контролируемого ЗПВ органично связана с более широкой научной и практической проблемой принятия решений в условиях риска, когда вероятность возникновения аварийной ситуации относительно невелика, но последствия ее могут оказаться крайне тяжелыми или даже катастрофическими. Методология решения этой проблемы пока разработана крайне слабо; между тем постоянно растущие требования к точности и надежности инженерных проектов, частично подкрепленные ростом

* Так как авторы ориентировались, в первую очередь, на результаты своих исследований, то по ряду объектов анализ ограничивается хронологическими рамками проводившихся работ.

качества исходной информации, делают принятие рискованных решений все более трудным и в объективном, и в субъективном плане. Главным здесь является наличие неопределенности, т.е. факторов, недостаточно хорошо изученных и прогнозируемых, а риск — цена, которую приходится платить за отсутствие определенности. Понятно, что для частичного хотя бы снятия неопределенности ее нужно исследовать, а для этого необходима специальная стратегия. Представляется, что применительно к рассматриваемой ситуации такую стратегию и дает концепция контролируемого ЗПВ.

В проведении полевых и лабораторных работ по конкретным объектам и в составлении соответствующих разделов монографии принимали участие: В.К.Учаев — гл. 29 и 37, А.И.Коротков — разд. 29.1, 30.5, 37,1; Ф.Г.Атросченко — гл. 32 и 33; Е.В.Мольский — гл. 24 и 30; В.В.Щемилинин — разд. 30.2; Н.Г.Головина — разд. 29.2, 29.1, гл. 30; М.Н.Кочнева — гл. 30, разд. 31.1.1-31.1.3; Н.С.Петров — разд. 29.1, гл. 38; П.К.Коносавский — разд. 31.1, 29.1, 36.1; Р.Э.Дашко — разд. 30.3; В.Ю.Абрамов — разд. 26.2.2 и гл. 31; И.Л.Хархордин — разд. 37.1 и 26.2.2; В.А.Румянцев — гл. 37; А.А.Потапов — разд. 39.4.3; Л.В.Проскурнина — разд. 31.1.1; И.В.Токарев — разд. 36.1; А.В.Боронина — гл. 31 и разд. 39.3.4; Л.Н.Синдаловский — разд. 39.3.4; К.В.Титов — разд. 26.2.2; К.С.Харьковский — разд. 37.3.3; С.А.Переверзева — гл. 40; всем им авторы выражают глубокую признательность за полезные творческие контакты и за предоставленные материалы.

Неизменную поддержку при постановке полевых работ на объектах оказывали авторам специалисты горнодобывающих предприятий (Лебединский, Стойленский, Коршуновский ГОКи, калийные комбинаты Соликамско-Березниковского района, АО «Апатит», добывающие и перерабатывающие комплексы Якутского и Архангельского алмазоносных районов), предприятий Минатома и

Минстроя (ПО «Маяк», ЛО «Атомэнергопроект», НИТИ, ЛСК «Радон», институт «Энергоизыскания»), нефтедобывающих предприятий АО «Татнефть», геологических организаций Министерства природных ресурсов. Всем им авторы приносят свою благодарность.

Авторы будут весьма признательны за все советы и замечания по данной работе.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Количественная оценка отрицательного техногенного воздействия на природную среду и своевременная выработка необходимых защитных мероприятий возможны только при наличии соответствующих исходных данных, полученных, в частности, на стадии гидрогеологической разведки (разд. 28.4.1); в дальнейшем прогнозные оценки должны быть скорректированы и дополнены в процессе последующих гидрогеологических наблюдений на действующем объекте (разд. 28.4.2). К сожалению, говоря о полноте и качестве гидрогеологической изученности тех или иных объектов, приходится констатировать, что получаемая при разведочных работах, дополнительных изысканиях и режимных эксплуатационных наблюдениях информация в действительности часто не дает возможности хотя бы ориентировочно оценить ожидаемые масштабы процессов загрязнения подземных вод; более того, режимные наблюдения подчас не позволяют своевременно обнаружить даже общий характер неблагоприятных тенденций в изменении химического состава подземных вод, что свидетельствует об их явно недостаточной надежности для принятия решений по управлению качеством подземных вод. С другой стороны, как уже отмечено во «Введении», и сама стратегия такого управления, особенно в том, что касается водоохраных мероприятий, пока не может считаться достаточно убедительной.

Для всех этих серьезнейших просчетов есть, конечно, объективные причины: новизна проблемы и недостаточ-

ная ее научная разработанность; сложность процессов миграции загрязнений в подземной гидросфере; ограниченные возможности изучения этих процессов традиционными методами гидрогеологических опробований и наблюдений; слабая разработанность комплекса опытных работ и наблюдений, специально ориентированных на решение задач охраны от ЗПВ и существенно отличающихся от традиционных методов исследований. Среди причин субъективного свойства отметим: недостаточную теоретическую подготовленность гидрогеологов к всестороннему изучению процессов миграции подземных вод и недоукомплектованность гидрогеологической службы; отсутствие в подавляющем большинстве случаев целенаправленного анализа данных режимных наблюдений на объектах; слабую увязку проектных решений с возможностями их последующей корректировки на базе этих данных. Нужно также учитывать, что исследования по рассматриваемой проблеме имеют свою специфику и требуют особенно тесной комплексации гидродинамических, гидрохимических и гидрогеофизических методов изучения формирования качества подземных вод в техногенно нарушенных условиях.

В целом же, из всего сказанного следует вывод о необходимости разработки более эффективных концептуальных подходов к проблемам охраны подземных вод от загрязнения, а также управления их качеством посредством контрольных* и защитных мероприятий; с анализа последних мы и начнем этот раздел.

* В первую очередь, на базе полевых наблюдений (т. II).