

Министерство образования и науки Украины
Национальная академия природоохранного и курортного строительства
Министерство экологии и природных ресурсов Украины
Украинский государственный геологоразведочный институт
Крымское отделение

ЮРОВСКИЙ Ю. Г.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ШЕЛЬФА

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

монография

Симферополь
«ДИАЙПИ»
2013

УДК 556.3:557.24.056 (262.5/54)

Ю 78

Рецензенты:

1. Доктор геолого-минералогических наук В. В. Юдин (профессор, академик Крымской АН и Академии горных наук Украины)
 2. Доктор геолого-минералогических наук В. С. Тарасенко (профессор, президент Крымской Академии Наук)
 3. Кандидат физико-математических наук А. В. Прусов (ведущий научный сотрудник Морского гидрофизического института НАНУ)
- Научный редактор:** кандидат технических наук Т. Н. Юровская

Монографія складається з двох частин. У першій частині виконано аналіз, систематизація та узагальнення вітчизняних і зарубіжних матеріалів по вивченню підземних вод шельфу. На основі аналітичного узагальнення сформульовані основні завдання гідрогеологічного вивчення Української частини шельфу Чорного і Азовського морів. Наведено їх наукове обґрунтування. У другій частині розглянуті методи вирішення основних сформульованих завдань. Виділено дві групи методів: розрахунково-аналітичні і методи прямих досліджень. Комплекс гідрогеологічних робіт включає методіку вивчення субмарини розвантаження підземних вод перетіканням, методіку вивчення субмарини джерел. Окремо розглянуті особливості вивчення прибережної зони і глибоководної частини шельфу, методи літодинамічних досліджень і екологічних оцінок.

ЮРОВСКИЙ Ю. Г.

Ю 78 Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения.
Монография – Симферополь: ДИАИПИ, 2013. – 260 с.

ISBN 978-966-491-358-1

Монография состоит из двух частей. В первой части выполнен анализ, систематизация и обобщение отечественных и зарубежных материалов по изучению подземных вод шельфа. На основе аналитического обобщения сформулированы основные задачи гидрогеологического изучения Украинской части шельфа Черного и Азовского морей. Приведено их научное обоснование. Во второй части рассмотрены методы решения основных сформулированных задач. Выделены две группы методов: расчетно-аналитические и методы прямых исследований. Комплекс гидрогеологических работ включает методику изучения субмаринной разгрузки подземных вод перетеканием, методику изучения субмаринных источников. Отдельно рассмотрены особенности изучения прибрежной зоны и глубоководной части шельфа, методы литодинамических исследований и экологических оценок.

УДК 213 + 22

Ключевые слова: методика, подземные воды, субмаринная разгрузка, интрузии морских вод, экология.

Для гидрогеологов, морских геологов, экологов, инженеров-геологов, преподавателей и студентов ВУЗов.

© Юровский Ю. Г., 2013

© НАПКС, 2013

© УкрГГРИ, 2013

ISBN 978-966-491-358-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокращения	6
Краткий словарь терминов	7
Введение	9
ЧАСТЬ I. ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА	
Глава 1. Основные этапы изучения	14
Глава 2. Современные представления о геолого-гидрогеологических структурах шельфов	24
2.1. Особенности структурно-геологического строения	24
2.2. Особенности гидрогеологических структур	27
Глава 3. Формулирование задач гидрогеологического изучения шельфов	31
Глава 4. Обоснование основных задач гидрогеологического изучения украинского шельфа	35
4.1. Общее и региональное изучение гидрогеологических условий	35
4.2. Особенности формирования химического состава подземных вод	39
Глава 5. Изучение механизма субмаринной разгрузки подземных вод	42
5.1. Количественная оценка субмаринной разгрузки перетеканием	44
5.2. Количественная оценка активной субмаринной разгрузки подземных вод (субмаринные источники)	58
5.3. Изучение субмаринной разгрузки подземных вод по разрывным тектоническим нарушениям	63
5.4. Изучение разгрузки спонтанных газов, грязевого вулканизма ...	71
Глава 6. Водообмен подземных вод шельфа и прилегающих территорий суши	78
6.1. Общие положения	78
6.2. Изучение подземного водообмена между сушей и морем	79
6.3. Интрузии морских вод в сторону суши	84
6.4. Особенности оценки естественных ресурсов пресных подземных вод на приморских территориях	91
6.5. Роль подземных вод в водно-солевом балансе Черного и Азовского морей	95

Глава 7. Построение гидрогеологических моделей функционирования шельфа	98
Глава 8. Экология и подземные воды шельфа	106
Глава 9. О гидрогеологическом картировании шельфа	122
ЧАСТЬ II. МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА	
Глава 10. Расчетно-аналитические методы	131
10.1. Метод среднесноголетнего водного баланса	131
10.2. Гидрогеодинамический метод	132
10.3. Метод аналогий	136
Глава 11. Дистанционные и геофизические методы гидрогеологического изучения шельфа	137
11.1. Дистанционные методы	137
11.2. Геофизические методы	139
Глава 12. Прямые методы изучения субмаринной разгрузки перетеканием	155
12.1 Общие положения и последовательность выполнения работ ..	155
12.2 Оценка параметров вертикальной фильтрации с помощью приборов	157
12.3. Оценка величины субмаринной разгрузки с помощью естественных трассеров	163
12.4 Оценка величины субмаринной разгрузки с помощью искусственных нерадиоактивных трассеров	166
12.5. Оценка величины субмаринной разгрузки по данным гидрохимического опробования поровых растворов донных отложений	167
Глава 13. Прямые методы изучения субмаринных источников	171
13.1. Общие положения.	171
13.2. Обнаружение и поисковые работы.	171
13.3 Описание субмаринных источников	174
13.4 Определение дебита субмаринных источников.	175
13.5. Определение состава и расхода спонтанных газов	182
Глава 14. Маршрутные исследования	184
14.1. Общие положения.	184
14.2. Подготовительные работы	185
14.3. Геоморфологические наблюдения.	188
14.4. Литодинамические наблюдения	189
14.5. Океанологические наблюдения	191
14.6. Геологические наблюдения.	192
14.7. Гидрогеологические наблюдения.	193

14.8. Инженерно-геологические наблюдения (экзогенные геологические процессы)	195
Глава 15. Методы изучения литодинамических процессов	198
15.1. Общие положения	198
15.2. Теоретические представления о литодинамических процессах.....	199
15.3. Методы полевых исследований	201
Глава 16. Гидрогеологическое изучение глубоководной части шельфа.....	209
16.1. Задачи и общие положения.....	209
16.2. Комплекс полевых работ при гидрогеологическом изучении шельфа	213
16.3. Техническое обеспечение полевых работ	216
Глава 17. Методы экологических оценок в области взаимодействия морских и подземных вод	217
17.1. Общие положения	217
17.2. Особенности экологии украинской части шельфа	219
17.3. Придонный слой морских вод.....	221
17.4. Донные отложения и поровые воды	224
Глава 18. Компьютерное сопровождение гидрогеологического доизучения шельфа.....	234
Заключение	239
Литература	244
Приложение. Дополнительные условные обозначения к гидрогеологической карте шельфа.....	256
Сведения об авторе	259

СОКРАЩЕНИЯ

- ВНИГРИ – Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геолого-разведочный институт
- ВСЕГИНГЕО – Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии
- ВСЕГЕИ – Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
- ГГДТ – Гидрогеологическое доизучение территорий
- ГДП – Геологическое доизучение площадей
- ГСШ – Геологическая съемка шельфа
- ГИС – Геоинформационная система
- ИГН НАНУ – Институт Геологических Наук Национальной Академии Наук Украины
- ИМП – Институт минеральных ресурсов
- ИнБИОМ – Институт Биологии Южных Морей Национальной Академии Наук Украины
- ИВП РАН – Институт водных проблем Российской Академии Наук
- КО УкрГГРИ – Крымское отделение Украинского государственного геологоразведочного института
- ЛитНИГРИ – Литовский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт
- МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергетике (Австрия, Вена)
- МГИ НАНУ – Морской гидрофизический институт Национальной Академии наук Украины
- МГУ – Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова
- НАНУ – Национальная Академия Наук Украины
- ПЛБ – подводная лаборатория
- ПОА – подводный обитаемый аппарат
- ЮНЕСКО – Объединенные Нации, Образование, Наука, культура (Франция, Париж)
- ESRI ArcGIS – формат программной среды ГИС технологий
- ИНР – Международная гидрологическая программа
- ИОС – Международная океанографическая комиссия
- GPS – GlobalPositionSystems – Глобальная Система Позиционирования
- ЛОИСЗ – Взаимодействие суша-океан в береговой зоне (Международный проект Геосфера – Биосфера)

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Аномалии – реально определяемые в натуральных условиях области смещения морских и подземных вод. По положению в толще морских вод аномалии подразделяются на придонные, взвешенные и поверхностные, независимо от стратификации морской среды. По типу аномалии подразделяются на температурные, химические, геофизические, смешанные.

Береговая зона – прибрежная полоса моря и заливаемая при волнении суша со специфическими формами рельефа, создаваемыми под преимущественном воздействием волн, которые, трансформируясь и разрушаясь в пределах данной полосы, вследствие уменьшения глубины, расходуют энергию на переформирование подводного берегового склона и берега, на перемещение прибрежно-морских наносов и на построение аккумулятивных форм (Морская геоморфология. Терминологический справочник, 1980).

Внедрение морских вод – проникновение морских вод в сторону суши, в прибрежный водоносный слой, по коллекторам, сопровождающееся вытеснением пресной воды. (Синоним – интрузия морских вод).

Выходы подземных вод – проявления разгрузки подземных вод в отдельных открытых трещинах на обнажениях коренных пород, в том числе на стенках и дне карстовых полостей.

Грифон – локальное углубление в рельефе дна, вызванное деятельностью субмаринного источника. Различают грифоны открытые и закрытые (т. е. заполненные наносами). Грифонами также называются углубления в рельефе дна, образованные спонтанно выделяющимися газами. В отдельных работах грифонами называют эруптивные центры грязевых вулканов, как надводных, так и подводных.

Деятельный слой – слой современных неконсолидированных донных осадков, испытывающий непосредственное динамическое воздействие морских волн, приводящее к их разуплотнению и частично взвешенному состоянию. Нижняя граница деятельного слоя часто определяется профилем равновесия или так называемой нулевой поверхностью, теоретически не испытывающей деформаций при штормовом волнении.

Зона дисперсии – область смещения морских и подземных вод в толще водовмещающих пород. Определяется по выраженным градиентам солености (минерализации) или электропроводности воды.

Наносы – взвешенные и влекомые, а также все минеральные образования в пределах деятельного слоя.

Олистострома (от греческого – ползти, накапливаться). По В. В. Юдину [Юдин, 2011] – региональное хаотическое скопление чужеродных несортированных обломков и отдельных массивов во вмещающей массе (матрикс) гравитационно-осадочного происхождения. Олистострома – результат надводных и подводных оползней или переотложения более древнего осадочного материала на склонах.

Олистолит. По В. В. Юдину [Юдин, 2011] – оползневой массив, обломок прочных пород в составе олистостромы размерами от метров до первых километров.

Прибрежная зона (прибрежно-морская зона) – природная система по обе стороны от линии уреза, в пределах которой прослеживается влияние атмосферных (осадки, волнение моря, штормовые нагоны, сейши), планетарных (приливо-отливные явления) и антропогенных (откачки, мелиоративные работы, регулирование поверхностного стока) явлений на взаимодействие подземных и морских вод.

Рассредоточенная разгрузка – вертикальная фильтрация подземных вод через перекрывающие водоносный горизонт (слой) современные донные отложения, сопровождающаяся вытеснением морских вод. Синоним – (разгрузка перетеканием).

Ретронадвиг – по В. В. Юдину [Юдин, 2011] – надвиг с падением сместителя обратным по сравнению с наклоном коллизионной сутуры и главной системой разрывов в складчато-надвиговой области. Синоним – обратный надвиг. Пример – Южно-Азовский ретронадвиг.

Факел субмаринного источника – термин введен Ю. Г. Юровским в 1968 году [Юровский, 1968] для пресноводных субмаринных источников, расположенных на ровном или наклонном дне, воды которых имеют вертикальное развитие в толще морской воды. У других авторов – струя (jet), поток (flow, outflow), в некоторых работах plume, который можно перевести как факел.

Формы факелов – внешние очертания факелов (конфигурация), имеющие в стратифицированной спокойной морской среде 6 основных форм. Три из них достигают поверхности моря, образуя поверхностные аномалии, две уравниваются в морской среде (взвешенные аномалии). Факелы образующие придонные аномалии называются затопленными.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая читателю работа является обобщением ранее сокращенно изданных в открытой печати материалов по изучению подземных вод морей и океанов. В нее включены отдельные наиболее важные фрагменты монографий «Гидрогеология шельфовых областей [Коротков и др., 1980]» и «Гидрогеология прибрежной зоны [Юровский и др., 2005]», а также многочисленных препринтов, статей и тезисов докладов автора, опубликованных в различных, порой труднодоступных читателю изданиях. Значительная часть сбора материалов выполнена в процессе подготовки материалов научно-исследовательской работы Крымского отделения Украинского геолого-разведочного института «Разработка методики гидрогеологического доизучения масштаба 1: 200 000 шельфов Черного и Азовского морей» в 2006–2011 гг., проведенной под научным руководством автора.

Многие разделы книги посвящены Черному и Азовскому морям, поскольку автор более 30 лет проработал в Крыму. Поэтому и актуальность тематики тесно связана с проведением исследований по комплексному освоению Украинского шельфа в связи с разработкой месторождений минерального сырья (в том числе промышленных запасов углеводородов), оценкой водных ресурсов пресных и минеральных вод приморских территорий, развитием рыбохозяйственной отрасли и марикультуры, рекреации и др. В комплексе этих исследований важное положение занимают гидрогеологические вопросы, требующие доизучения.

Определению задач гидрогеологического изучения шельфа предшествует глава 2, посвященная описанию структурно-геологических и структурно-гидрогеологических особенностей шельфов. В ней кратко изложены результаты мирового опыта изучения шельфовых областей, начиная с понятийных. Автор посчитал необходимым поместить этот раздел в начале книги для более ясного понимания дальнейшего изложения, а также с целью показать глубину проблемы и ее место в гидрогеологии. В произвольном порядке для каждой из сформулированных задач изучения шельфа приводится научное обоснование.

Вопросам научного обоснования посвящена достаточно большая смысловая часть монографии, включающая главы 4–9. Научное обоснование задач проведено с позиций современных представлений и парадигм, существующих в современной науке. Однако, глубина и подробность обоснования разных задач не одинакова. Такое

положение объясняется, в первую очередь, уже упомянутыми трудностями в получении информации.

Методам гидрогеологического изучения шельфа посвящена вторая часть монографии. При этом обе части предлагается рассматривать как единое целое. Их связывают многие смысловые положения, обоснование методических подходов, обзор ранее проведенных исследований и другие вопросы.

Проблемы исследования шельфа нашли свое отражение в ряде государственных документов Украины:

- «Концепция наращивания минерально-сырьевой базы, как основы стабилизации экономики Украины на период до 2010 г.» утвержденная постановлением Кабинета министров Украины от 29.03.09 г № 338;
- проблема «Нефть и газ Украины», утвержденная Кабинетом министров Украины от 21.06.01 г № 665;
- «Общегосударственная программа развития минерально-сырьевой базы Украины на период до 2010 г.», проект которой одобрен в первом чтении Верховной Радой и находится в комитетах на доработке.

При комплексном освоении минеральных, водных и биологических ресурсов шельфа в Украине большое внимание уделяется экологическим проблемам. Направление в этой области исследований определяет «Общегосударственная программа охраны и воспроизводства среды Азовского и Черного морей», утвержденная Законом Украины от 22.03.01 г № 2333 – III. Общегосударственная программа в свою очередь отражает все положения Международной Конвенции по защите Черного моря от загрязнения от 21.03.03 (Бухарест), ратифицированной Украиной, и Министерской декларации по защите Черного моря от загрязнения от 30.10.93 (Одесса).

Настоящая работа в тематическом плане, определенным образом, связана с фундаментальными научными исследованиями, выполняемыми Национальной Академией Наук Украины. В частности, такая связь по отдельным пунктам прослеживается в научно-техническом проекте «Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования морской среды с целью рационального, экологического и техногенно-безопасного использования ресурсного потенциала», выполняемом с 2007 г.

Гидрогеологическая изученность прибрежной зоны и шельфа во всем мире существенно ниже, чем изученность территории при-

легающей к ним суши. Одной из причин такого положения является практически полное отсутствие гидрогеологического бурения в морских акваториях. Во много раз менее разработано методическое обеспечение морских гидрогеологических работ. Так, для их выполнения имеются всего две методические рекомендации: первая – Министерства Геологии УССР 1984 г. [Юровский, 1984] и вторая – составленная совместно ВСЕГИНГЕО и Институтом Водных Проблем АН СССР: Методические рекомендации по гидрогеологическому изучению морей и крупных озер. (М., ВСЕГИНГЕО, 1987.– 66 с.) [Методические, 1987].

Объективно существуют и принципиальные отличия условий формирования подземных вод на суше и на шельфе. Например, в субмаринных условиях отсутствует зона аэрации, область питания пресных подземных вод и др. Направление движения подземных вод в прибрежно-морской зоне может иметь реверсивный характер: субмаринная разгрузка и интрузии морских вод в сторону суши. Отдельным объектом исследований представляется область взаимодействия подземных и морских вод на шельфе и механизм этого взаимодействия.

Особенность гидрогеологических исследований в акваториях заключается в том, что большинстве случаев нет возможности непосредственно наблюдать геологические объекты, водопроявления и проводить измерения, которые легко выполняются в условиях суши. Эту особенность полностью можно отнести и к глубоководной части шельфа и частично к прибрежной зоне. Поэтому, основу гидрогеологического изучения составляют инструментальные методы исследования физических и химических аномалий, образующихся в результате движения подземных вод через морское дно. В морских акваториях существенно усложняется проведение основных видов съемочных работ: маршрутные исследования и опробование водопунктов, картировочное бурение, режимные наблюдения и целый ряд других. На порядки увеличивается стоимость проведения исследований. В связи с этим, остается дискуссионным вопрос о кондиционности морских гидрогеологических карт.

В монографии обобщены все известные нам попытки проведения морских гидрогеологических исследований, как в Украине, так и за рубежом, в том числе все опубликованные методические разработки. Особое внимание обращено на пятилетнюю программу изучения субмаринной разгрузки, выполненную ЮНЕСКО и МАГАТЭ в 2000–2005 годах. Однако во всех этих работах не ставился вопрос

о гидрогеологическом картировании шельфа в масштабе 1: 200 000. В методических рекомендациях ВСЕГИНГЕО (1987) приводятся только общие соображения и подходы к составлению карт без указания масштаба. Учитывая существенную разницу в объемах и качестве информации, имеющейся на суше и в акваториях, следует полагать, что проблема изучения подземных вод шельфа и, тем более, картирования, должна решаться поэтапно, с переходом от прибрежной зоны к глубоководным участкам.

Работа выполнена в соответствии с положением «Про государственную систему мониторинга окружающей среды», утвержденную постановлением Кабинета Министров Украины от 30.09.1998 года, а также протоколов IV и V сессий Межведомственного совета СНГ по разведке, использованию и охраны недр, соответственно 16–17 мая 2000 г, г. Киев, Украина и 4–7 июня 2001 г, г. Астана, Казахстан.

Книга предназначена для широкого круга читателей: специалистов гидрогеологов, морских геологов и экологов, инженеров-геологов, а также студентов Высших учебных заведений. Дайджест может представлять интерес и для историков науки, как в общем плане развития наук о Земле, так и отдельных её дисциплин.

Автор выражает искреннюю благодарность коллегам: – за ценные советы, консультации и участие в совместных публикациях: академику НАН Украины В. А. Иванову, доктору геолого-минералогических наук, профессору В. В. Юдину, кандидату технических наук А. В. Прусову; за дружескую поддержку и положительные отзывы – члену-корреспонденту НАН Украины А. Ю. Митропольскому; за помощь в оформлении и научном редактировании работы – кандидату технических наук Т. Н. Юровской.

ЧАСТЬ I

ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИЗУЧЕНИЯ

Гидрогеологическая изученность украинской части шельфа Азовского и Черного морей существенно отличается по детальности. Целенаправленное гидрогеологическое изучение шельфа и прибрежной зоны на отдельных участках выполнялось как производственными, так и научно-исследовательскими организациями, начиная с семидесятых годов прошлого века. Производственные геологические организации (объединения, экспедиции, партии) проводили, как правило, комплексные геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования и съемки разных масштабов побережья и шельфа. Работы продолжались и в восьмидесятые годы. Методическое обеспечение этих исследований базировалось на официальных указаниях и рекомендациях по проведению съемочных гидрогеологических работ в условиях суши [Альтовский, 1960, Методические 1967, Методические 1983, и др.]. В комплексных работах использовались методические рекомендации по геологической съемке шельфа [Методы, 1970]. Все эти работы можно отнести к первому этапу гидрогеологического изучения шельфа.

Отсутствие полноценного методического обеспечения на этом этапе не позволяло эффективно выполнять морские гидрогеологические исследования. Примером могут служить проводившиеся в 1973–1975 годах работы на шельфе Каламитского залива. Одной из задач работы было выявление зон субмаринной разгрузки пресных подземных вод напорного сарматского горизонта Альминской впадины. В условиях интенсивной эксплуатации сарматского водоносного горизонта кустовыми водозаборами в береговой зоне образовались обширные депрессионные воронки. Снижение статического уровня дошло до минусовых отметок. В таких условиях, решение вопросов гидравлической связи подземных вод с морем и расположение зон разгрузки относительно эксплуатационных водозаборов имело принципиальное значение. Положение участков субмаринной разгрузки пытались обнаружить с помощью скважных резистивиметров, буксируя их по поверхности дна. Результат оказался отрицательным. Заглубленные значения в определении минерализации прибором (точность прибора 1 и более г/л) не позволили выявить слабые проявления разгрузки на дне в области дисперсии.

С конца семидесятых и начала восьмидесятых годов начинается второй этап изучения гидрогеологии украинского шельфа. К этому времени и на протяжении второго этапа в Советском Союзе проведено изучение подземного стока в Каспийское, Аральское и Балтийское моря [С. Брусиловский, 1971; Н. Глазовский, 1976; Р. Джамалов, 1973; В. Йодказис, Р. Мокрик, 1981 и др.], а также на Кавказском побережье Черного моря [И. Буачидзе, А. Мелива, 1967; И. Зекцер и др., 1972; Ю. Юровский, 1973, А. Месхетели, Д. Кузнецов, 1984 и др.]. Появились монографические издания, посвященные проблемам подземного водообмена суша – океан и подземному стоку в моря [Джамалов и др. 1977. Зекцер и др. 1984, Коротков и др. 1980].

В исследовании Черноморского шельфа видную роль сыграли украинские научно-исследовательские организации. Крупным вкладом в изучение морских вод, донных осадков и поровых вод является монография «Геохимия Черного моря» [Митропольский и др., 1982], в которой субмаринная разгрузка подземных вод рассматривается как один из источников поступления микроэлементов. Институт геологических наук АН Украины проводит на южном берегу Крыма исследование субмаринной разгрузки геотермическими методами [Лялько и др., 1978]. По существу предлагается новая методика, основанная на измерении теплового потока в верхнем слое донных осадков и придонном слое воды в очагах субмаринной разгрузки подземных вод. В более широком плане рассматривается субмаринная разгрузка на шельфе Украинского Причерноморья в другой статье, опубликованной в Геологическом журнале [Лялько и др., 1980], а также в репринте «Проблемы инженерной геологии и гидрогеологии Черноморского шельфа УССР» [Проблемы, 1985]. Институтом минеральных ресурсов Министерства Геологии УССР в 1982–1985 г выполняется работа по изучению фильтрационных свойств пород верхнеюрского возраста, особенностей движения и субмаринной разгрузки, приуроченных к ним подземных вод, в юго-западном Крыму [Юровский и др., 1986 б, Юровский, 1998].

В эти же годы в Украине выходят в три важные публикации, определяющие дальнейшее развитие морской гидрогеологии. В первой рассматриваются методы оценки величины субмаринной разгрузки подземных вод и выполнено обобщение материалов по подземному стоку подземных вод в Черное море [Геология, 1983]. В другой работе [Дублянский и др., 1984] приведена типизация геолого-гидрогеологических условий субмаринной разгрузки Черноморского бас-

сейна (в пределах Крыма и Кавказа). Всего выделено шесть типов разгрузки: 1-безнапорная подводная; 2-напорная подводная; 3-напорная через покровный водоупор; 4 – напорная по тектоническим нарушениям; 5 – безнапорная через аллювий переуглубленных долин; 6 – безнапорная отторженцев, олистолитов и биогермов. На основании анализа геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий шельфа проводится районирование с учетом типов субмаринной разгрузки. В пределах Украины выделяется шесть типовых участков и шесть – на Кавказском побережье с приближенными данными об интенсивности разгрузки в л/с км.

Третья публикация представляет собой впервые составленные методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям в прибрежной зоне моря [Юровский, 1983]. Несколько позже, в открытой печати публикуется другой вариант методических рекомендаций по гидрогеологическому изучению акватории морей и крупных озер [Методические, 1987]. В их составлении приняли участие специалисты ВСЕГИНГЕО, Института водных проблем АН СССР, Лит НИГРИ, ВНИГРИ и ИМП Мингео УССР.

В середине восьмидесятых годов продолжается изучение субмаринной разгрузки подземных вод на юге Украины и в Крыму. Результаты исследований представлены в работах [Лущик и др., 1985, Поровые, 1986, Юровский и др., 1986 а], в том числе с использованием численного моделирования [Юровский и др., 1986 б, Водообмен, 1989]. Обращают на себя внимание оригинальностью две работы, а именно [Лущик и др., 1985, Юровский и др., 1986 а]. В прибрежной зоне Тарханкутского полуострова впервые были изучены состав спонтанно выделяющихся газов, проявления разгрузки глубоких водоносных горизонтов и определены очаги сероводородного заражения в прибрежной зоне. Доступность изучаемых объектов позволила тщательно исследовать био- и геохимические условия образования высоких концентраций сероводорода (до 100 и более мг/л). На основании наблюдений можно предположить, что такие очаги являются действующей моделью сероводородного заражения всей Черноморской впадины.

С конца восьмидесятых – начала девяностых годов начинается третий (современный) этап гидрогеологического изучения шельфа. В нем выделяется целый ряд направлений исследований:

- миграция флюидов (подземных вод, растворенных и спонтанных газов) по разрывным тектоническим нарушениям;

- разгрузка подземных вод в подводных каньонах и на материковом склоне;
- субмаринная разгрузка аллювиальных вод в конусах выноса рек;
- взаимодействие подземных и морских вод в различных геологических и гидрогеологических условиях;
- изучение субмаринной разгрузки трещинно-карстовых вод, в том числе поиски пресных субмаринных источников и определение их дебита;
- картирование и изучение палеорусел;
- разгрузка спонтанно выделяющихся газов на шельфе, в том числе из подводных грязевулканических образований.

Исследование процессов миграции подземных вод и газов по тектоническим нарушениям на морских мелководьях было обусловлено практическими потребностями. С помощью газогеохимических наблюдений, дополняющих геофизические данные, было уточнено положение в акватории Южно-Азовского сейсмогенерирующего ретронадвиг и протрассировано оперяющее его нарушение [Юровский и др., 1989]. Выходящий на сушу оперяющий надвиг пересекал промплощадку строящейся Крымской АЭС. В качестве газовых показателей использовались комплексные изменения концентраций гелия, метана, углекислого газа и сероводорода в поровых и придонных водах. Проявления разгрузки подземных вод оценивалось по понижению солёности и соотношению CO_2 и HCO_3^- показателям pH, Eh.

Субмаринная разгрузка подземных вод в каньонах и на континентальном склоне изучалась в 37 рейсе НИС «Академик Вернадский» в Черном море [Результаты, 1988]. Обнаружение источников проводилось по распределению хлорности, солёности, щёлочности, физико-химических показателей (pH, Eh, t°) и, выборочно, железа [Поиски, 1989].

Количественная оценка субмаринной разгрузки подземных вод в конусах выноса рек выполнялась в рамках научной темы «Эколого-геохимические исследования токсичности природных вод в замыкающих створах речных бассейнов Судакско-Феодосийского района» [Юровский, 1996].

Процессам взаимодействия подземных и морских вод в различных геологических и гидрогеологических условиях, а также водному балансу приморских территорий посвящены работы [Борисенко, 2001, Юровский 2001, Юровский и др., 2002].

Методами обнаружения пресных субмаринных источников и изучением субмаринной разгрузки трещинно-карстовых вод на основе полевых исследований занимались специалисты Института геологических наук, Морского гидрофизического института Национальной Академии Наук Украины и Института минеральных ресурсов [Морские, 1993, Кондратьев и др., 1995, 1998, Сорокина и др., 1996, Щетинин и др., 1995, Юровский и др., 2000]. В результате проведенных исследований были предложены новые критерии поисков очагов субмаринной разгрузки, в том числе по изменениям концентрации двуоксида кремния. Разработаны оригинальные теоретические решения для определения дебита субмаринных источников. Намечены подходы к мониторингу субмаринной разгрузки карстовых вод.

Отдельным направлением в гидрогеологическом изучении шельфа можно считать исследования палеорусел рек (географическое положение, глубина вреза, химический состав аллювиальных вод) [Шнюков и др., 1999 а]. Также самостоятельным направлением является изучение и картирование газопроявлений на Черноморском шельфе. Обнаружение газовыделений и наблюдения за ними осуществлялось с помощью сейсмоакустических методов и подводных обитаемых аппаратов [Геворкьян и др., 1991, Корчин и др., 1998]. Проявления газовыделений оказались весьма разнообразны, например, они могут быть в виде локально расположенных факелов, площадного распространения в виде локальных струек, факелов приуроченных к грязевулканическим постройкам, а также в виде построек так называемых «Черноморских курильщиков» [Геворкьян и др., 2005, Газовый, 2005, Шнюков и др., 2005]. Это направление имеет большое практическое значение для поисков газовых месторождений.

Заметным явлением в изучении гидрогеологии и геоэкологии шельфов, в том числе Украинского шельфа, представляются работы, опубликованные в 2003–2006 годах [Емельянов, 2003, Юровский и др., 2005, Митропольский и др., 2006, Baysarovich, 2004]. Они являются одновременно крупными научными обобщениями многолетних исследований, а также основой для постановки дальнейших работ в области морской гидрогеологии и геоэкологии.

Историю и результаты изучения гидрогеологии шельфа до и после распада Советского Союза целесообразно рассматривать в сравнении с мировым опытом. Очевидно, что проблемы и задачи в этой области у всех исследователей совпадают. Особенно это касается методических вопросов. К первому и второму этапу можно отне-

сти ряд зарубежных работ 1960-х годов: Adraham, (1960), Accerboni et al., (1967), Cassini, (1967), Manheim, (1967) и др.

В Средиземном море крупные субмаринные источники были известны уже в античное время. Они использовались как для водоснабжения населения (источник, расположенный на острове г. Арвад, современная Сирия), так и для снабжения пресной водой судов. Однако, несмотря на засушливый климат средиземноморья и острую нехватку питьевой воды, систематическое изучение субмаринной разгрузки началось лишь в 60-х годах прошлого века. В 1963 г по проекту Комитета по грунтовым водам при ООН (проект ЮНЕСКО), компания Ральф и Парсонс провела исследования у берегов Ливана для выяснения возможности улучшения водоснабжения за счет субмаринных вод. При этом был открыт ряд неизвестных ранее субмаринных источников.

В 1966 году по программе Национального исследовательского центра Италии выполнялись полевые исследования на северо-западном берегу о. Сицилия. Поиск пресноводных субмаринных источников выполнялся методом вдольберегового профилирования с непрерывным измерением солености индукционным солемером модели РС5–3 (Cassini R., 1967). Подобные поисковые работы с непрерывной записью значений электропроводности (солености) и температуры проводились в Триестском заливе Адриатического моря (Accerboni E., Mosetti F., 1967). Для определения дебита субаквального источника на дне озера Кинерет впервые использован радиоактивный трассер – ^{60}Co (Braudo C. J., 1967) Немного ранее изучение режима субмаринных и береговых карстовых источников в районе г. Шибеника (Далмация) предпринято югославским ученым Б. Мижатовичем (1961).

В бухте Порт-Мийо (Miou), расположенной между городами Марсель и Кассис (Франция), методом электропрофилирования было обнаружено четыре субмаринных источника и уточнено положение еще восьми источников, обнаруженных ранее с самолета. Условия выхода подземных вод в бухте изучалось аквалангистами [Pous J. M., 1961]. Масштаб субмаринной разгрузки оказался столь значительным, что в 1964 г. бюро Геологических и Горных исследований создало в Марселе специальную организацию по её изучению. После проведения детальных исследований в карстовой галерее была построена плотина, разделяющая пресные и соленые морские воды. Пресные воды стали поступать в систему берегового водоснабжения.

Аналогичные поисковые работы проводились на материковом побережье и островах Греции с последующим строительством плотины в одной из пещер, в прибрежной зоне Сирии и др. Обобщение накопленной информации о субмаринной разгрузке карстовых вод выполнено Беатой Швердфегер [Shverdfeger, 1981]. В этой публикации впервые приведен, составленный автором, каталог из 96 субмаринных источников, расположенных в бассейне Средиземного моря. Следует заметить, что каталог этот явно устарел и не отражает истинное число источников. По современным данным только в Адриатическом море насчитывается более 700 субмаринных источников [Zektser et al., 2006].

Большой объем исследований субмаринной разгрузки подземных вод выполнен в США. В семидесятые годы с помощью многоспектральных аэросъемок Геологической службой США изучались субмаринные источники у берегов Ямайки и Гавайских островов [Deutsh M., 1974]. С применением инфракрасной аэросъемки определялись границы площадей субмаринной разгрузки в прибрежной зоне полуострова Флорида [Lovett W. T., 1969]. Детальные работы по исследованию термальных субмаринных источников выполнены в районе Пунта Банде, округ Эсиянда в Нижней Калифорнии [Vidal V., Vidal F., 1978, 1981]. В процессе работ определялись концентрации природных изотопов, в частности кислорода (^{18}O) и дейтерия ($^{\delta}\text{D}$), а также температуры, минерализация и химический состав вод источников. Далее авторы установили, что разгружающиеся воды, уже на уровне грифонов, представляют собой смесь разных пропорций с морскими и метеорными водами со значительным понижением солености по отношению к морской воде.

На атлантическом побережье США наиболее детально субмаринная разгрузка изучалась в районе острова Лонг-Айленд (Нью-Йорк). Приоритетным в изучении разгрузки этого густонаселенного острова было выбрано экологическое направление. Морским научно-исследовательским институтом Нью-Йоркского университета в 1982–1983 годах определен объем выноса нитратов с подземными водами в океан и содержание NH_4 и NO_3 в поровых и придонных водах очагов разгрузки [Capone D. O., Bautista M. E., 1985].

Влияние субмаринной разгрузки на формирование пляжных отложений в приливо-отливные циклы изучалось в Австралии [Lanyon J, A. et al., 1982]. Также в Австралии проводились исследования экологических следствий разгрузки [Hearn C.J, Iohannes R. E., 1985]. Сток подземных вод в аллювиальных отложениях дельты Нила из-

учался в Африке (Sirin Ante, 1984), трехлетние измерения порового давления в донных осадках при волнении проводились в Японии (Okusha Shigeyasu, Ushida Atsushi, 1989). Разгрузка термальных вод и газов вулканического происхождения наблюдалась с помощью подводных обитаемых аппаратов в Новой Зеландии [Л. Пропп и др., 1892]. Этот перечень можно было бы продолжить. Более полно он представлен в других работах. Например, географическое положение всех известных попыток изучения субмаринной разгрузки подземных вод (**Рис. 1.1**) приведен в обобщающей публикации [Tanigushi M. et al., 2002].

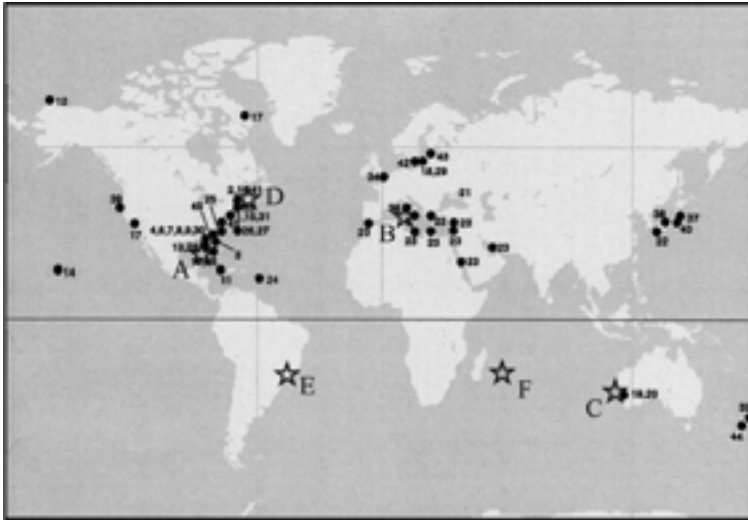


Рис. 1.1 Географическое положение пунктов, в которых проводились исследования субмаринной разгрузки подземных вод [Tanigushi M. et al., 2002]. Цифры (1–45) – номера пунктов в каталоге. Звездочки – участки детальнейших полигонных исследований

Началом третьего зарубежного этапа следует считать 2000 г. Именно с этого года начал осуществляться крупномасштабный проект теоретических и экспериментальных исследований субмаринной разгрузки подземных вод перетеканием в прибрежной зоне. Проект был реализован в 2000–2005 годах. Инициаторами проекта были крупные международные организации ЮНЕСКО и МАГАТЭ. В программе проекта предусматривались развитие методологии и возможности зонального регулирования (управления) прибрежными водными ресурсами.

Исследования осуществляли девять лабораторий из восьми стран. Ежегодно проводились совещания и экспедиционные исследования. Полигонные территории, охваченные экспедиционными исследованиями, включали: Австралию (2000 г.), Сицилию (2001 и 2002 гг.), Нью-Йорк (2002 г.), Бразилию (2003 г.) и о. Маврикий (2005 г.). В задачу исследований входило изучение всех видов субмаринной разгрузки перетеканием, использование изотопных методов для количественных оценок (Секция изотопных гидрологических исследований МАГАТЕ), разработка численных моделей разгрузки и др. В 2002 г. С участием ЮНЕСКО проводился международный симпозиум «Низменные береговые области, гидрология и интегральное береговое управление». В нем приняли участие ряд международных комиссий: Гидрологическая (ИНР), Океанографическая (ИОС), Взаимодействие суша – океан в береговой зоне (ЛОИСЗ) и др. В 2004 г опубликовано отдельное издание «Субмаринная разгрузка подземных вод», в котором показано значение управления (менеджмента), наблюдения и эффекта, обобщающее результаты симпозиума [Submarine, 2004]. Позже, в 2006 г большой коллектив авторов издал обзор комплексных методов количественной оценки субмаринной разгрузки подземных вод [Quantifying, 2006]. В материалах исследований приводятся практические рекомендации по обустройству субмаринных источников и схемы каптажных устройств. Упомянутые выше материалы характеризуют качественные изменения в изучении субмаринной разгрузки. От чисто научных и поисковых методов осуществляется переход к практическому использованию субмаринных вод. В том же 2006 г. в США издается монография И. С. Зекцера и Р. Г. Джамалова – крупное обобщение по изучению субмаринных подземных вод [Zektser et al., 2006].

Несмотря на высочайший научный, технический и материальный потенциал проведения исследований, предусмотренных проектом ЮНЕСКО/МАГАТЭ (мировой уровень), весьма показателен один из выводов сделанных его исполнителями [Quantifying, 2006]. Дословно он звучит так: в области изучения субмаринной разгрузки подземных вод «еще нет никакой широко принятой стандартной методики». То есть одна из главных целей проекта не была достигнута.

Тем не менее, на основании анализа и систематизации отечественного и зарубежного опыта представляется возможным:

1. Сформулировать и научно обосновать задачи гидрогеологического изучения шельфа.

2. Обобщить и верифицировать методические подходы, применяемые в морских гидрогеологических исследованиях.

Совершенно очевидно, что методические подходы на современном этапе не могут иметь черты методического руководства и, тем более, инструкции. Идея данной работы в том, чтобы изложить альтернативные подходы к выполнению морских гидрогеологических исследований, хорошо отработанные в натуральных условиях. При этом должен быть максимально полно учтен опыт отечественных и зарубежных исследований, проанализированы достоинства и недостатки каждого метода. Окончательный выбор того или иного варианта наблюдений или метода, а также комплексирование (одновременного использования нескольких методов) методов будут зависеть от конкретных природных условий района изучения. Эффективность применения рекомендуемых методов, в свою очередь, будет существенно зависеть и от квалификации исполнителей, материального обеспечения работ, в том числе логистической поддержки, обеспечения специализированными крупно- и малотоннажными плавсредствами (судами, катерами, понтонами, буровыми установками и т. д.), современными приборами и оборудованием. [Quantifying, 2006].

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ШЕЛЬФОВ

2.1. Особенности структурно-геологического строения

Термин «шельф» был введен в обиход еще в XIX веке, точнее в 1887 году Хью Робертом Милом. В современной научной литературе термин употребляется в разных смысловых значениях, далеко не однозначных. Поэтому, прежде чем приступить к описанию геолого-структурных особенностей шельфа, рассмотрим понятийное определение шельфа. В дословном переводе с английского shelf – полка, выступ, отмель. Термин отражает, прежде всего, его геоморфологическую особенность. То есть, шельф (континентальная терраса) представляется как полого наклонный подводный уступ в рельефе дна морей и океанов. В настоящее время шельф обозначает целый ряд понятий, в зависимости от того, с каких позиций он рассматривается [Проблемы, 1975, Коротков и др., 1980, Логвиненко, 1980 и др.]. Таковыми, наиболее общими по определению, являются:

1. Геоморфологические – расположение, батиметрия, рельеф.
2. Геологические – геологические структуры, строение, тип земной коры.
3. Генетические – условия образования.

В литературе существуют так же понятия юридического и экономического шельфа, не имеющие ничего общего с выше названными. Для создания классификации шельфов в идеале следовало бы учитывать все три упомянутые выше позиции. Однако до сих пор общепринятой в мировой науке классификации шельфов не создано. В одной из ранних фундаментальных работ по морской геологии, изданной в 1951 году в США (и переизданной в 1969 и 1976 годах), Ф. Шепард выделяет 8 типов континентальных террас. Типизация, основанная преимущественно на морфологических признаках, с некоторыми изменениями была представлена затем в Океанографической энциклопедии [Океанографическая, 1974]. С учетом истории образования и территориальной приуроченности в ней выделя-

ются: 1. Шельфы областей оледенения. 2. Шельфы Антарктиды. 3. Шельфы с параллельными грядами и впадинами. 4. Ровные шельфы высоких широт. 5. Шельфы подверженные воздействию сильных течений. 6. Шельфы тропических морей. 8. Шельфы со скалистыми банками вдоль внешнего края. Здесь очевидны неодинаковые подходы и принципы в проведении типизации. Основные типы геологического строения шельфов и процессы, формирующие их рельеф, рассматриваются отдельно друг от друга. При этом, в выделении типов одновременно учитывается характер континентально-го склона, включая континентальный бордерленд и краевые плато.

Известные ученые О. Леонтьев и Д. Гершанович выделяют три генетических типа шельфов [Леонтьев и др., 1963]:

1. Трансгрессивные затопленные аккумулятивно-денудационные или денудационно-аккумулятивные субэаральные равнины краевых зон материковых платформ.
2. Выработанные (на окраинах молодых горных сооружений, островных дуг и океанических островов).
3. Аккумулятивно-дельтовые.

Несмотря на то, что эта типизация приводится в качестве основной в более поздних изданиях (1980) учебников морской геологии [Логвиненко, 1980], мы считаем ее не вполне удачной, учитывающей только геоморфологические признаки, появившиеся в результате воздействия экзогенных геологических процессов. К такому же мнению приходит и сам автор, Н. Логвиненко, констатируя, что классификации, объединяющей позиции геоморфологических, геологических и генетических определений шельфа, еще не создано.

С наибольшим геологическим обоснованием морфологические, фациальные, тектонические и структурные особенности шельфов (комплексный подход) рассмотрены в классической работе Дж. Кеннета [Кеннет, 1987]. В огромном разнообразии континентальных окраин автор выделяет всего два основных типа шельфов: Тихоокеанский и Атлантический. Первый тип относится к активным окраинам океана, обусловленным конвергентными границами тектонических плит. Второй относится к пассивным (асейсмичным) окраинам молодых океанов, развивающихся в условиях спрединга. В соответствии с циклом Вильсона часть пассивных окраин рано или поздно становятся активными. В структурном строении таких шельфов четко выделяются два этажа: нижний, сформированный при дивергентном этапе и ограниченный сбросами, и верхний, образованный в услови-

ях конвергенции. Не останавливаясь на многочисленных особенностях каждого типа, отметим только, что к тем и другим типам шельфов примыкает большое количество окраинных и внутренних морей.

Одним из наиболее крупных внутренних морей является Средиземное. К внутренним морям, расположенным между континентальными блоками, относится и Черное море. Говоря о внутренних морях, Дж. Кеннет справедливо замечает: «Каждое из этих морей отличается по гидрофизическим характеристикам, тесно связано с климатическим режимом и рельефом окружающих континентов, географической широтой, близостью ледниковых щитов, объемом речного стока, характером связи с открытым океаном и другими факторами. Особенности седиментации в этих морях очень разнообразны» [Кеннет, 1987].

Согласно этим представлениям, современный черноморский шельф в государственных границах Украины можно условно отнести к типу активно-окраинного. Основные его структурные и морфологические черты начали формироваться по современным представлениям с мел–палеогенового времени в условиях задугового бассейна и окончательно оформились в неоген-четвертичный период при конвергенции. От более раннего этапа геодинамической эволюции (средний – поздний триас), происходящего в условия пассивных окраин, на Крымском шельфе сохранился моно-олигомиктовый дивергентный флиш (таврическая серия) и отдельные проявления юрского островодужного магматизма. Современный геологический этап развития северочерноморского шельфа происходит в условиях субдукции (точнее квазисубдукции) субокеанической коры Черноморской микроплиты под Евразийскую [Юдин, 2001 а, б., 2011]. Поддвиг новообразованной микроплиты обуславливает горообразование, появление множества складчато-надвиговых дислокаций и высокую сейсмичность региона. Наиболее ярко эти процессы выражены в пределах Крымского шельфа. К особенностям строения последнего можно отнести то, что он целиком расположен на аккреционной призме, которая подстилается субокеанической и континентальной корой.

Несмотря на то, что скорость схождения Крымского полуострова и Анатолии невелика – всего 1–2 см/год, породы, слагающие Украинский шельф, достаточно сильно дислоцированы. Дислоцированность пород черноморского шельфа хорошо видна на сейсморазведочных профилях, выполненных многочисленными отечественными и зарубежными геофизическими организациями, в том числе фирмой Western. Условность в его отнесении к активно-окраинным заключается в отсутствии глубоководного желоба и проявлений вулка-

низма. Однако процесс квазисубдукции находит свое подтверждение в высокой сейсмичности всего Северо-Черноморского региона, существовании высокотемпературных аномалий в Равнинном Крыму и проявлении четвертичного магматизма по простиранию на Кавказе. Эти признаки, вполне обоснованно, рассматриваются специалистами в области структурной геологии и геодинамики как первый этап перерождения пассивной окраины в активную [Юдин, 2001 б, 2011].

Особенности тектонических движений в Черноморском регионе обуславливают специфическое развитие шельфов. Несмотря на относительно небольшую протяженность Украинского шельфа, в сравнении с океаническими окраинами континентов, структурно-морфологические его виды весьма разнообразны [Геология, 1982]. Западная часть представлена аккумулятивно-дельтовым образованием – конусом выноса р. Дунай. Глубоко врезающая в сушу, северо-западная часть Черного моря представлена широкой, до 227 км, трансгрессивным шельфом, образовавшимся в результате длительного опускания, накопления осадков с существенным влиянием выносов рек. У южного берега Крымского полуострова шельф сужается до 10 км, представляя собой так называемый гемишельф. Его происхождение, как и северо-западного, частично связано с затоплением пологой денудационной равнины при эвксинском прорыве средиземноморских вод через Босфор. Далее, в Керченско-Таманском районе гемишельф несколько расширяется – до 57 км.

На всем протяжении украинского шельфа и на батимальном склоне, наряду с эндогенными, активно проявляются и экзогенные процессы. Например, такие как: турбидитовые потоки, образование и движение многочисленных олистостром с олистолитами и др. Формирование черноморского шельфа происходит в условиях лавинной седиментации, что, в свою очередь, влияет на характер функционирования гидрогеологических структур и масштабы водообмена суша – море.

2.2. Особенности гидрогеологических структур

Гидрогеологические структуры шельфов изучены гораздо меньше, чем геологические. Принципы структурно – гидрогеологического районирования дна Мирового океана, в сопоставлении с аналогичными принципами районирования на суше, наиболее аргументировано, сформулированы в работе В. Кирюхина и Н. Толстихина «Гидрогеология дна Мирового океана» [Кирюхин и др., 1988]. В иерархии структурных построений выделяются:

1. Континенты и океан как структуры 1-го (высшего) порядка.
2. В качестве структур второго порядка в пределах континентов различают:

- подвижные пояса (гидрогеологические складчатые области);
- тектонически-устойчивые платформы и плиты.

В той же последовательности к гидрогеологическим структурам второго порядка на дне океанов относятся:

- подвижные (генеральные) гидрогеологические области срединно-океанических хребтов и поднятий;
- стабильные гидрогеологические области океанических платформ.

В пределах структур океанического дна второго порядка выделяются:

- субокеанические массивы трещинных вод;
- субокеанические бассейны осадочного чехла;
- океанические вулканогенные бассейны (подводные и островные).

В работе [Кирюхин и др., 1988] далее следует более дробное деление каждой из структур. Между структурами первого порядка, то есть между континентами и океаном, выделяется пояс структур перехода (зона перехода) суша – океан. Эта зона отличается разнообразием геологического строения, гидрогеологических условий и представлена прибрежно-шельфовыми структурами континентов. Среди последних выделяются:

- гидрогеологические массивы (ГМ);
- артезианские бассейны (АБ);
- вулканогенные бассейны (ВБ).

К прибрежно-шельфовым структурам континентов (зоне перехода) относятся и океанические структуры:

- субмаринные бассейны окраинных морей;
- гидрогеологические складчатые области островных дуг, к которым со стороны океана примыкают субокеанические структуры глубоководных желобов;
- бассейны предматериковых прогибов.

В структурно-гидрогеологическом отношении все гидрогеологические структуры зоны перехода можно разделить на две группы. Относящиеся к первой группе полностью скрыты под уровнем моря и проходят субмаринный этап развития. Они с полным основанием могут быть названы субмаринными. Гидрогеологические структуры второй группы частично располагаются под уровнем моря, а частично

на суше. Такие структуры авторы предлагают называть семимаринными (от *semi* – полу). Существует и другое их название – прибрежно-шельфовые. Обе части этих структур, субаэральная и субмаринная, представляют с гидрогеологических позиций собой единое целое.

По нашему мнению, то, что авторы работы [Кирюхин и др., 1988] называют поясом перехода, по существу включает в себя три составляющие: прибрежную зону с ее субаэральной и субаквальной частями части, шельф и континентальный склон. В случае внутриконтинентально-Черного моря, правильнее использовать синоним – батийальный склон.

Находящиеся в пределах пояса перехода гидрогеологические структуры более сложны, чем аналогичные континентальные. Например, выработанные абрадированные шельфы примечательны тем, что верхняя часть их водоносных горизонтов и зон уничтожена абразией и отсутствует под уровнем моря, сохраняясь на берегу. Для трансгрессивных и аккумулятивно-дельтовых шельфов характерно наличие толщ молодых новообразованных отложений. Эти толщи представлены разнообразным обломочным материалом от песков до илов с иловыми водами включительно.

Известно, что практически все гидрогеологические структуры зоны перехода участвуют в энергичном водообмене суша – море. В процессах водообмена выделяются два направления движения подземных вод: субмаринная разгрузка (в том числе в виде субмаринных источников) и интрузии морских вод в сторону суши. Разгрузка порово-пластовых вод обычно осуществляется перетеканием трещинно-жильных и карстовых вод в виде источников. Пресные субмаринные источники встречаются иногда на значительном удалении от берега и большой глубине моря. Так карстовый источник в заливе Святого Мартина (Средиземное море) расположен на глубине около 700 м, то есть в пределах континентального склона. Интрузии морских вод в сторону суши широко известны на всех побережьях Мирового океана и во внутренних морях. Весьма широко представлены они и на Азово-Черноморском побережье Украины [Юровский, 2006]. В различных гидрогеологических структурах интрузии проявляются своеобразно, в виде региональных и локальных процессов. Самыми высокими темпами водообмена отличаются поноры (морские мельницы), действующие с одинаковой эффективностью в обоих направлениях. Эжекторное воздействие пресного потока вызывает появление соленых источников, располагающихся на склонах карстующихся пород выше пресных. Другим, не менее своеобразным проявлением интрузий, являются соленые береговые термы [Кирюхин и др., 1988].

Достаточно очевидно, что выделение гидрогеологических структур на шельфе весьма условно. Так, к отдельному типу, который можно назвать межструктурным, следует отнести разгрузку на шельфе подземных вод по разрывным тектоническим нарушениям. В зависимости от типа такого нарушения и времени его образования дренируются разные гидрогеологические этажи. Обычно, в зонах новейшей активизации тектонических движений дренируются пресные грунтовые и карстовые воды верхней части геологического разреза. Примером могут служить субмаринные источники активизированных в настоящее время разрывных зон на северо-западном берегу Крыма [Юровский и др., 1986 а]. Крупные региональные нарушения могут одновременно дренировать несколько водоносных горизонтов с водами различного химического состава и разной общей минерализацией. Миграция вод из нижних гидрогеологических этажей (структур), как правило, сопровождается сопутствующими флюидами разного химического состава, в том числе углеводородными газами [Юровский и др., 1986 а, 1989]. По механизму такая разгрузка напоминает водообмен между водоносными горизонтами через гидрогеологические окна и выражается в виде локальных гидрохимических и геохимических аномалий. К этому же типу разгрузки условно можно отнести функционирование грязевых вулканов, расположенных на морском дне. За последние 10–15 лет, в дополнение к известным вулканам Азовского моря, на шельфе Черного моря были обнаружены десятки новых грязевулканических образований.

Такими в общих чертах и кратком изложении представляются структурно–геологические и структурно–гидрогеологические черты шельфов. Повторим, что в геологическом отношении шельфы изучены намного более детально, чем в гидрогеологическом. Детальному изучению структурная геология шельфов в значительной степени обязана поискам и разведке углеводородных месторождений. Гидрогеологические структуры к настоящему времени исследованы явно недостаточно. Фрагментарные на локальных участках гидрогеологические работы проводились для изучения активного водообмена – субмаринной разгрузки и интрузий. Региональные оценки подземного стока в моря и Мировой океан выполнялись сотрудниками Института водных проблем АН СССР И. С. Зекцером и др. [Джамалов и др., 1977, Зекцер и др., 1984 и др.]. Все эти исследования, выполненные в 70-х начале 80-х годов прошлого века, носящие оригинальный характер, нуждаются в уточнении и проверке. Последние обобщения можно найти в работе [Zektser, 2006].

ГЛАВА 3. ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФОВ

Морская гидрогеология, как самостоятельная дисциплина, в сравнении с другими направлениями и дисциплинами наук о Земле, появилась сравнительно недавно – во второй половине XX века. Первыми монографическими работами, посвященными подземным водам шельфа, стали «Подземный сток в моря и мировой океан» (1977) и «Гидрогеология шельфовых областей» (1980) [Джамалов и др., 1977, Коротков и др., 1980]. Помимо обобщения мирового опыта изучения шельфа, оригинальных математических построений и интерпретации собственных исследований в них были выделены направления дальнейших исследований. К основным направлениям были отнесены:

- исследование процессов водообмена между сушей и морем;
- разработка гидрогеологических моделей шельфов;
- изучение роли подземных вод в водном и солевом балансе морей;
- оценка ресурсов подземных вод приморских территорий;
- изучение интрузий морских вод в сторону суши и некоторые другие.

Первоначально сформулированные в этих работах направления дальнейшего гидрогеологического изучения шельфов не потеряли своей актуальности и в наше время. Их в принципе можно отнести к категории задач.

С начала семидесятых годов прошлого века проблемы и задачи морской гидрогеологии обсуждались в ряде совещаний и конференций. Целый ряд докладов по этой тематике был заслушан на таком представительном форуме, как XXVII Геологический конгресс в Москве (1984) [Антонов и др., 1984, Зекцер и др., 1984, Юровский, 1984]. По общему мнению авторов докладов гидрогеологическое функционирование шельфов играет важную роль в качестве составляющей (или элемента) в общем круговороте воды в природе. Шельфы представляют собой глобальное явление с ярко выраженными особенностями в системе взаимодействия вода-порода. Важной проблемой признано изучение гидрогеологического цикла во-

дообмена суша-море, включающего этапы: инфильтрационный, характерный для суши, и элизионный, характерный для моря. В докладе [Юровский, 1984] к наиболее сложным задачам изучения субмаринной разгрузки подземных вод отнесены:

- выявление генезиса разгружающихся в море подземных вод;
- оценка гидрогеологической активности глубинных дизъюнктивных тектонических нарушений;
- изучение гидрохимических следствий субмаринной разгрузки;
- изучение гидробиологических следствий субмаринной разгрузки.

Первые формулировки основных проблем и задач гидрогеологического изучения шельфов по содержанию, таким образом, опережали свое время и во многом предопределили направление дальнейших исследований. С начала 90-х годов в развитии морской гидрогеологии стран СНГ наступила десятилетняя пауза. Поэтому, настоящая работа является прямым продолжением упомянутых выше исследований.

Представляется, что современные направления изучения гидрогеологии шельфов должны определять как чисто научные, так и практические аспекты. Фундаментальные исследования в идеале должны опережать практические запросы. Этот своеобразный задел можно охарактеризовать известным изречением: «нет ничего более практичного, чем хорошая теория». Однако, практика зачастую опережает развитие теории, используя во всех областях науки чисто эмпирические решения. Освоение мирового шельфа идет в нарастающем темпе, что связано, главным образом, с добычей углеводородов. Современные технологии позволяют производить бурение разведочных эксплуатационных скважин уже не только на шельфе, но и на материковом склоне, где глубина воды превышает километр. Такие глубины в пределах Украинской экономической зоны пока еще представляют собой практически неисследованную область. Геофизические исследования, в том числе сейсморазведка, показывают, что указанная область по количеству и размерам структур потенциальных нефтегазовых ловушек весьма перспективна. В то же время, нам ничего не известно о характере коллекторов и подземных водах к ним приуроченным, поскольку буровых работ в них не производилось.

Приоритетной в реализации различных научных программ в Украине является идея комплексного изучения и использования ресурсов шельфа. Комплексный подход к изучению этого сложного природного объекта ни у кого не вызывает возражений. Однако

анализ имеющихся материалов по Украинскому шельфу со всей очевидностью показывает узкую направленность и однобокость проводимых исследований. Необходимость комплексных наблюдений пока остается лишь декларацией, как например «Министерская декларация по защите Черного моря» (7.04.1993, Одесса). В комплексе целевых исследований значительно меньшее внимание уделяется проблемам экологии, гидрогеологии, динамике морских вод и твердого вещества, чем вопросам нефтегазоносности. Отдельные работы с проведением краткосрочного мониторинга выполнялись только на локальных участках шельфа и в разное время (районы о. Змеиный, Одесское побережье, юго-западный Крым). Тем не менее, рассмотрение этих материалов, а также Государственных и ведомственных программ, позволяет сформулировать основные задачи гидрогеологического изучения на примере Украинской части шельфа Черного и Азовского морей в следующем виде, представив их как отдельные разделы.

I. Региональное изучение гидрогеологических условий.

В перечень задач этого раздела включаются:

- общая гидрогеологическая характеристика шельфов;
- формирование химического состава поровых вод верхней части геологического разреза;
- формирование химического состава подземных вод основных водоносных горизонтов, включая месторождения пресных, минерализованных и лечебных вод.

II. Изучение динамики подземных вод на шельфе и прилегающих территориях.

В перечень задач этого раздела включаются:

- исследования подземного водообмена между сушей и морем в естественных и нарушенных условиях, в том числе интрузий морских вод в сторону суши и подруслового стока рек по палеоруслам;
- оценка естественных ресурсов подземных вод приморских территорий,
- оценка объема подземного стока и роли разгружающихся подземных вод в водно-солевом балансе Черного и Азовского морей.

III. Изучение механизма субмаринной разгрузки подземных вод.

В перечень задач этого раздела включаются:

- разработка и теоретическое обоснование методов количественной оценки субмаринной разгрузки перетеканием;

- разработка и теоретическое обоснование методов количественной оценки активной субмаринной разгрузки подземных вод (субмаринные источники);
- изучение субмаринной разгрузки подземных вод по разрывным тектоническим нарушениям и в подводных грязевых вулканах.

IV. Гидрогеологическое картирование шельфа.

В перечень задач этого раздела включаются:

- составление методических рекомендаций по гидрогеологическому картированию шельфа;
- разработка системы дополнительных условных обозначений для гидрогеологических карт шельфа;
- составление макета гидрогеологической карты шельфа.

V. Разработка гидрогеологических моделей функционирования шельфа и прогнозные построения.

VI. Изучение экологических аспектов, связанных с подземными водами на шельфе.

Сформулированные задачи гидрогеологического изучения шельфа нуждаются в научном обосновании и пояснениях. Этим вопросам посвящена следующая глава.

ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ УКРАИНСКОГО ШЕЛЬФА

Перечень и формулировка задач, по существу, не более чем декларация. Используя материалы теоретических и практических работ, проведенных ранее, попытаемся дать научное обоснование сформулированных выше задач. Комментируя рубрикации, то есть порядок, в котором они расставлены, можно отметить следующее. Каждая из задач несет свою смысловую нагрузку и может считаться самостоятельной. В тоже время все они взаимосвязаны и объединены общей целью комплексного гидрогеологического изучения шельфа. В контексте определенных практических работ каждая из них может становиться основной или вспомогательной. Порядок и очередность решения задач могут меняться, но без изменения основных целей.

4.1. Общее и региональное изучение гидрогеологических условий

Общее изучение шельфа Украины подразумевает проведение региональных исследований. Региональный этап, как и в других геологических исследованиях, должен быть предшествующим. Выполнение его связано с составлением геологических, гидрогеологических, геохимических и других карт масштаба 1: 1 000 000 и мельче. Мелкомасштабные карты, согласно руководствам по гидрогеологической съемке, должны отражать гидрогеологические условия больших территорий и регионов. Цель их создания – показать распространение основных водоносных комплексов, главные характеристики водоносных систем, особенности формирования подземных вод. Если региональный этап пропущен, то в дальнейшем неизбежно возникнут осложнения со среднемасштабным и крупномасштабным картированием.

Планомерное изучение шельфа должно быть тщательно спланировано. На региональном этапе следует определиться с общей геоло-

го-гидрогеологической характеристикой шельфа с учетом его геологических и структурных особенностей. Выделение тех или иных гидрогеологических структур прямо связано с разработкой гидрогеологической стратификации. При этом разработку гидрогеологической стратификации можно считать самостоятельной научной задачей.

Вопросам гидрогеологической стратификации на суше посвящен ряд работ, в том числе известный тематический сборник [Принципы..., 1982]. Принципы гидрогеологической стратификации обсуждались на НТС ВСЕГИНГЕО с участием ВСЕГЕИ, ГИДРОИНГЕО, ВНИИ Зарубежгеология, территориальных геологических управлений и др., а также на специальном совещании [Шахнова, 1980]. О дискуссионности проблемы свидетельствуют следующие высказывания, приведенные в сборнике:

- «Гидрогеологическая стратификация должна использоваться, главным образом, в качестве основы гидрогеологического картирования и районирования» (В. А. Всеволожский);
- «Схема гидрогеологической стратификации должна быть единой для всех видов гидрогеологических исследований: гидрогеологических съемок, поисково-разведочных работ, специальных гидрогеологических, гидрогеотермических и др.» (Р. В. Куликов);
- «Нет признанного определения самого понятия «гидрогеологическая стратификация». Нет и самого термина ни в одном из гидрогеологических справочников» (Н. М. Фролов);
- «Подземные воды могут «стратифицироваться» по их плотности, солености и температуре. Большинство гидрогеологов стратифицирует все же не подземные воды, а геологический разрез. При этом стратификации, в настоящем смысле этого слова, поддаются лишь разрезы артезианских бассейнов, но не складчатых областей или кристаллических массивов.

Таким образом, следует говорить о гидрогеологическом расчленении геологического разреза, а не о стратификации» (М. Р. Никитин). На наш взгляд дискуссия весьма показательна. Приведенные высказывания отражают полярность взглядов известных ученых на проблему гидрогеологической стратификации, в том числе понятийных. Так, М. Р. Никитин отмечает, что сам термин «гидрогеологическая стратификация» весьма условный, во многом неопределенный, неточный и неоднозначный [Никитин, 1982]. Тем не менее, все оппоненты сходятся во мнении, что проблема исключительно важна и актуальна. Остановимся на положениях, не вызывающих серьезных возражений.

Так в учебниках общей гидрогеологии декларируется следующее. Основными единицами гидрогеологической стратификации, по мере укрупнения изучаемых гидрогеологических объектов, являются: слой, горизонт, комплекс. Определение этих и других объектов представлены в работах [Шахнова, 1980, Принципы, 1982,]. Цитируем [Кирюхина и др., 1988]:

«Водоносный слой – слой пород, чаще всего разновозрастных, характеризующийся однородностью литолого-фациального состава, выраженностью по мощности и по распространению, со сравнительной однородностью фильтрационных и емкостных свойств».

Далее: «водоносный горизонт – один или несколько водоносных слоев, залегающих между водоупорами или между зоной аэрации и водоупором, и характеризующихся общими условиями формирования, движения и разгрузки подземных вод». Водоносный горизонт обладает гидродинамической самостоятельностью, которая проявляется в тесной взаимосвязи гидростатического или геостатического напора во всех слоях. Слабоводопроницаемые и водоупорные породы имеют в водоносном горизонте подчиненное значение. Породы, слагающие водоносный горизонт, могут иметь различный литолого-фациальный состав и обладать изменчивостью фильтрационных и емкостных свойств. Таким образом, ***подходы и выбор критериев для гидрогеологической стратификации шельфов еще предстоит сделать, и это одна из важнейших задач дальнейшего изучения шельфа.*** Коротко поясним задачу на примере Украинской акватории.

Украинская часть шельфа в бассейне Черного моря представлена, по крайней мере, тремя типами. *Первый*, аккумулятивно-дельтовый шельф конуса выноса р. Дунай. По аналогии с другими переуглубленными долинами черноморских рек и их конусами выноса здесь должно наблюдаться частое переслаивание пород песчаного и глинисто – пелитового состава. Водоносный комплекс включает в себя несколько водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми или водоупорными породами, обладающих общностью условий формирования ресурсов и химического состава подземных вод. Далее, в стратификации выделяются слабоводоносный слой, водопроницаемый слой, водоупорный слой, водоупорный комплекс.

Используемые для выделения объектов критерии гидрогеологической стратификации на суше не всегда пригодны для субаквальных площадей. Так для определения водоносного слоя и частично водо-

носного горизонта аналогов на шельфе нет. Зона аэрации на шельфе отсутствует, и ее место занимают иловые и поровые воды. Формируются они в условиях полной насыщенности морской водой и при тесном взаимодействии в системе вода-порода. В большинстве случаев образование этих объектов в условиях седиментации (иногда лавинной) терригенных осадков отражает соответствующие гидрогеохимические особенности субаквальных ландшафтов. Водоносные горизонты и комплексы, также как и на суше, могут иметь разный литолого-фациальный состав коллекторов. Кроме того, слагающие их водовмещающие породы могут быть разновозрастными, согласно закону (правилу) Вальтера – Иностранцева – Головкинского, на что большинство гидрогеологов редко обращает внимание. Еще одной особенностью всех стратиграфических подразделений на шельфе является их гидравлическая связь с морскими водами в области разгрузки.

Исходя из опыта гидрогеологических исследований, можно отметить, что довольно часто наблюдается корреляция между гидрогеологическими и литолого-стратиграфическими подразделениями [Кирюхин и др., 1988]. Для осадочных толщ платформенных областей (вероятно и для шельфов платформ – первый тип) водоносный горизонт может соответствовать стратиграфическому горизонту или его части. Дополнительно могут выделяться водоносные свиты и водоносные серии, которые также должны занимать определенное положение (ярус, отдел, система). Такой подход в гидрогеологической стратификации очень редко выдерживается. Последнее не означает, что его не может быть вообще. Расчленение разреза (гидрогеологическая стратификация) определяется масштабом исследований, уровнем детализации или, наоборот, уровнем схематизации гидрогеологического разреза. В горно-складчатых областях обводненность пород имеет более сложный характер. Зачастую водность проявляется локально и приурочена к линейно-вытянутым зонам, тектоническим нарушениям и зонам трещиноватости.

Многочисленные водоносные слои могут при гидрогеологической стратификации объединяться в горизонты и комплексы с разными фильтрационными свойствами. *Второй тип* – трансгрессивный шельф одесского побережья, прорезанный палеоруками Днестра, Днепра и Каланчака. На этом участке сохраняется гидрогеологическая стратификация прибрежно-шельфовых водоносных горизонтов и комплексов, принятая на суше. *Третий тип* – гемишельф Южного берега Крыма – представляется наиболее сложным для ги-

дрогелогической стратификации. В его пределах выявлены две гигантские олистостромы – Южнокрымская и Южнокерченская [Юдин, 1996, 2008, 2011]. Размеры Южнокрымской олистостромы составляют: длина 170 км, ширина 20–30 км при толщине 1,5–3 км. Размеры Южнокерченской 100 x 40–50 км толщиной 0,5–1, местами 2 км. При этом, между континентальной Массандровской, часть олистолитов которой находится под уровнем моря, и подводной Южнокрымской олистостромами существует связь. Примерами тому – гигантский (20x30 км) Ялтинский олистолит из известняков верхнеюрского возраста и ряд других более мелких. Современные гравигенные процессы на Крымском шельфе, вызывающие образование гравитационных микститов и одновременно срезают часть коренных отложений, сминают нижележащие породы в мелкие складки, и стимулируют отжатие поровых вод. В процессе подвижек олистостромы гидрогеологическая стратификация постоянно меняется. Для таких геолого-гидрогеологических условий очевидно необходимы особые подходы в разработке самих принципов гидрогеологической стратификации.

4.2. Особенности формирования химического состава подземных вод

В верхней части геологического разреза шельфов формирование химического состава подземных вод довольно хорошо изучено, в том числе в Черном море. Этому способствовал сравнительно простой в техническом отношении отбор колонок донных отложений грунтовыми трубками различной модификации. Образцы керн в лабораторных условиях помещались в центрифуги или специальные прессы. Наиболее известна методика отжатия поровых растворов, предложенная П. Крюковым [Крюков, 1971]. Отделенные от грунта поровые и иловые воды подвергались затем химическому анализу. С начала шестидесятых годов XX века появляется ряд обобщающих работ по этой проблеме [Ткачева и др., 1962, Шишкина, 1972]. Гораздо сложнее обстоит дело с изучением химического состава межпластовых и артезианских вод на шельфе. Для этого требуется бурение дорогостоящих морских скважин и приемы изоляции, предотвращающие попадание морской воды в ствол скважины. До сих пор много неясного в пространственном расположении зон дисперсии, их величины (размеры) и в особенностях гидрохимических процессов при смешении морских и подземных вод. Очевидно, что для различных типов субмаринных и семимаринных ги-

дрогологических объектов с разным временем водообмена (порово-пластовых, трещинно-жильных, трещинно-карстовых) механизм формирования химического состава должен быть разным. Причем этот вопрос, помимо теоретического, имеет и практическое значение, например, для нефтегазовой гидрогеологии [Юровский, 2001].

К важной задаче по изучению химического состава подземных вод шельфа относятся многие вопросы образования минеральных вод. В ряде случаев они прямо связаны с оценкой эксплуатационных запасов и ресурсов месторождений. Покажем это на примере наиболее изученного на Черноморском побережье месторождения сероводородных вод Мацесты. Практическое значение этой проблемы трудно переоценить, поскольку на базе одноименного месторождения создан бальнеологический курорт мирового класса.

На протяжении долгого времени происхождение мацестинских вод оставалось неясным. В 1968 г. В. М. Куканов, на основании многолетних наблюдений и экспериментальных работ, в том числе с определением возраста минеральных вод (по радиоактивным изотомам радия, урана и мезотория $MsTh$), выдвинул гипотезу об их образовании за счет смешения вод двух типов [Куканов, 1968]. Морские воды богатые сульфат-ионами по тектоническим нарушениям (ступенчатые сбросы батинального склона и шельфа) проникают на некоторую глубину, где встречаются с древними водами нефтяного типа из терригенных толщ средней юры. В процессе смешения и сопутствующих химических реакций образуются минеральные воды, богатые радием и сероводородом. Далее В. Куканов показал, что метаморфизация солевого и газового состава морских вод протекает с большой скоростью на протяжении всего нескольких лет. Сразу же возникла идея искусственного восполнения месторождения за счет закачки по скважинам морских вод.

В дальнейшем, гипотеза В.М Куканова была использована с некоторыми изменениями и дополнениями в исследованиях А. Н. Павлова [Коротков и др., 1972, Павлов, 1977]. В частности было подтверждено, что возраст лечебных мацестинских вод по скважинам Т-2, 8 и 5 (глубина скважины Т-2 2000 м) составляет соответственно 0,5, 2 и 6 лет. Концентрации радия в сероводородных водах Мацесты аномальны для карбонатной толщи (даже если они относятся к водам хлор-натриевого типа), что предполагает приток посторонних вод. Автор отмечает также, что пример Мацестинского месторождения иллюстрирует сложный механизм взаимодействия глубоких артезианских и морских вод при водообмене вод суши и шельфа.

Опыт изучения Мацестинского месторождения может быть использован и в других регионах. Возможно, некоторое сходство по механизму образования с мацестинскими водами имеют отдельные месторождения минеральных вод в Украине. Например, сульфатно-хлоридные и сероводородные минеральные воды Феодосии, приуроченные к трещиноватым зонам в меловых и палеоценовых мергелях. Воды из разведочных скважин, на территории курорта глубиной 87 и 118 м имеют минерализацию около 7 г/л и содержат сероводород в количестве 131 мг/л. В обеих скважинах происхождение сероводорода связано с интенсивными проявлениями сульфатредукции с привнесом сульфатов из морской воды. Интересно также происхождение некоторых месторождений минеральных вод Керченского полуострова. Например, генезис минеральных вод Чокракского месторождения с минерализацией 20–35 г/л и содержанием сероводорода 250 мг/л, брома 25–135 и йода до 45 мг/л, вероятнее всего связан с седиментационными водами верхнего миоцена. Чем иначе объяснить их соленость, равную средней солености мирового океана (35 г/л), и повышенное содержание брома и йода.

С сожалением отметим, что минеральные воды, как национальное богатство Украины, используются еще не достаточно эффективно, особенно в приморских курортах. Они не имеют такой известности как источники Виши (Франция), Спа (Бельгия) и Карловы Вары (Чехия), хотя обладают не меньшими, а в ряде случаев и большими бальнеологическими достоинствами. При рациональном использовании приморских рекреационных ресурсов лечебными учреждениями минеральные воды включаются в комплекс лечебных процедур, наряду с грязями, климатическими и другими, увеличивая потенциальные возможности курортов. При больших запасах лечебные воды наружного применения могут использоваться и в соседних курортных пунктах. Так мацестинские сероводородные воды развозятся в автоцистернах по санаториям всего Большого Сочи на расстояние до 180 км. Вышесказанное позволяет полагать, что задачи в изучении химического состава подземных вод на шельфе весьма разнообразны. В целом, гидрохимическая изученность шельфа Украины недостаточна, хотя и представляет большой научный и практический интерес.

ГЛАВА 5. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Глава представляет собой вариант научного обоснования одной из задач, сформулированных в главе 3, то есть задач гидрогеологического изучения шельфа. Изучение динамики подземных вод на шельфе и механизма субмаринной разгрузки подземных вод тематически связаны и должны рассматриваться совместно. Изучение интрузий подземных вод в сторону суши, ввиду определенной специфики, выделено в самостоятельный раздел 6.3.

Совокупность методов изучения субмаринной разгрузки подземных вод и газов представляет собой сложный комплекс морских гидрогеологических исследований, включающих в себя задачи изучения механизма разгрузки и количественные оценки её величины. Объектами исследований в глубоководной части шельфа являются: толща донных отложений, содержащая флюиды (растворенные и спонтанные газы, поровые воды разной минерализации и химического состава), а также придонный слой морской воды. В прибрежной зоне область взаимодействия морских и подземных вод включает в себя всю толщу морской воды от дна до поверхности.

Попытки систематизации методов морских гидрогеологических исследований предпринимались давно. В схематическом плане комплекс морских гидрогеологических исследований, предназначенный для гидрогеологического изучения акваторий, можно представить в виде блок-схемы (**рис. 5.1**). На схеме показана взаимосвязь отдельных направлений и видов исследований, которые, по мнению авторов, должны также входить в состав гидрогеологической съемки шельфа [Методические, 1987].

Нами, в качестве самостоятельных направлений, отличающихся по механизму разгрузки и методам её изучения, выделяются следующие:

- субмаринная разгрузка подземных вод перетеканием;
- разгрузка подземных вод в виде субмаринных источников;

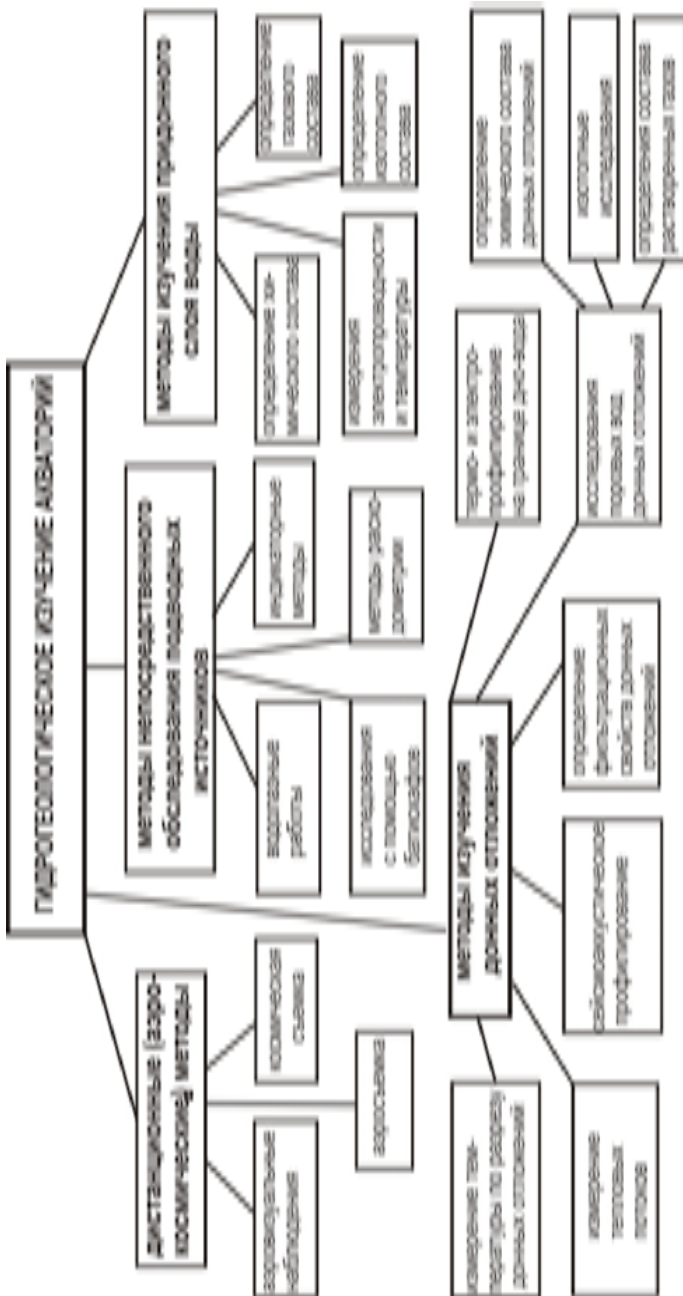


Рис. 5.1. Блок-схема методов морских гидрогеологических исследований [Методические ..., 1987]

- разгрузка глубоко залегающих подземных вод и газов по разрывным тектоническим нарушениям;
- разгрузка подземных вод и газов в подводных грязевых вулканах;
- разгрузка спонтанных газов площадного типа.

В той же последовательности рассмотрим обозначенные выше виды разгрузки более подробно.

5.1. Количественная оценка субмаринной разгрузки перетеканием

С самого раннего периода морских гидрогеологических исследований было понятно: субмаринная разгрузка перетеканием – наиболее распространенный вид дренирования подземных вод морскими впадинами. Процессы перетекания в большинстве случаев определяют динамику подземных вод семимаринных артезианских бассейнов в целом, или отдельных крупных его частей. При этом общим для всех видов субмаринной разгрузки является существенная разность пьезометрических напоров между областью питания и толщиной морской воды над морским дном. То есть, имеются в виду такие артезианские структуры, где развиты водоносные системы с прямым соотношением гидростатических и динамических напоров. В субаквальных условиях происходит последовательное перетекание из нижележащих в вышележащие водоносные горизонты, а затем суммарный вертикальный поток подземных вод разгружается непосредственно в море. Схематическое изображение такого рода субмаринной разгрузки можно представить в следующем виде (**рис. 5.2**).

На схеме показаны условия разгрузки грунтовых и межпластовых вод. Другие случаи, например обнаженных выходов водовмещающих пород на шельфе, обычно крайне редки и в данной схеме не рассматриваются. При незначительной разности напоров в толще донных отложений образуется зона дисперсии (смещения).

Уже в конце XIX века гидрогеологи пытались оценить количественные показатели субмаринной разгрузки, предлагая различные расчетные схемы. Обзоры этих предложений опубликованы в известных монографиях [Уист, 1969, Коротков и др., 1980]. В 50-х годах XX века в США получает распространение так называемая модель Гловера (1959) с помощью которой выполняются приближенные расчеты величины субмаринной разгрузки (**рис. 5.3**).

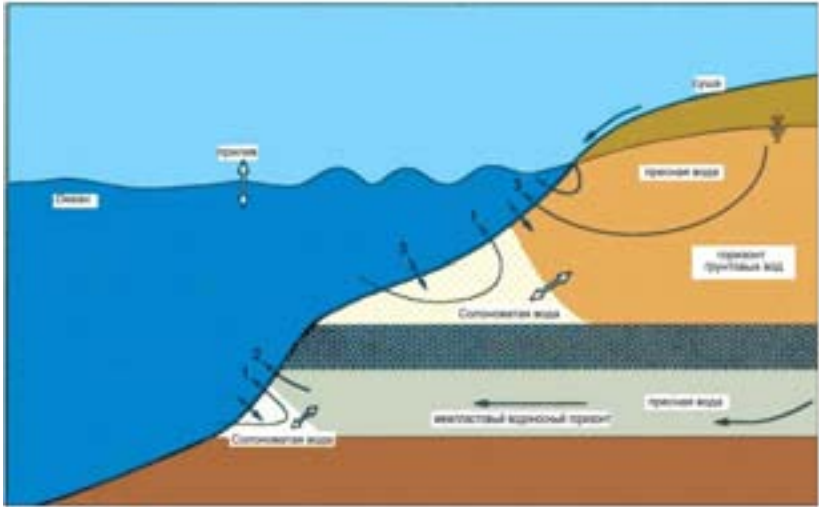


Рис. 5.2. Схематическое изображение процессов, связанных с субмаринной разгрузкой подземных вод [Submarine, 2004]. Стрелками показано направление движения подземных вод

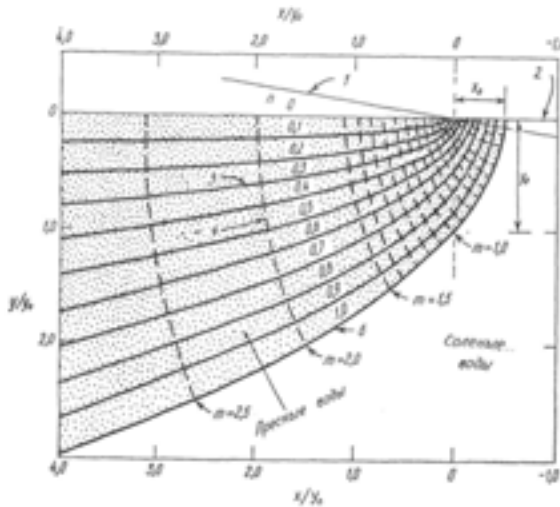


Рис. 5.3. Гидродинамическая сетка потока пресных подземных вод, разгружающихся в море (по Гловеру) [Уист, 1969].

1-поверхность земли; 2 – уровень моря; 3 – линия тока; 4 – эквипотенциальная линия; 5 – пресная вода, 6 – граница раздела пресных и соленых вод.

В это же время, в работах Н. Гириного (1948, 1950, 1955) отдельно рассматриваются варианты разгрузки пресных грунтовых, напорных вод и рассолов. Все эти расчетные схемы следует отнести к категории приближенных из-за тех или иных допущений. Так, основными недостатками в расчетных построениях Н. Гириного являются: использование принципа Гибена–Герцберга, предполагающего наличие жесткой границы между пресными подземными и солеными морскими водами, а также гидростатическое равновесие контактирующих вод. Жесткая граница исключает существование зоны дисперсии, чрезмерно схематизируя расчетные построения. Между пресными подземными и солеными морскими существует не гидростатическое, а гидродинамическое равновесие. Еще в 1940 г. М. Губерт убедительно показал несоответствие между действительной глубиной до соленой воды и глубиной, полученной с помощью уравнения Гибена–Герцберга для условий прибрежной зоны [Уист, 1969]. Следовательно, любые другие расчетно-аналитические методы должны модифицироваться применительно к реальным условиям, с соответствующими изменениями начальных и граничных условий.

Несколько позже, в 70–80 годы XX века, в разработке методов количественной оценки величины субмаринной разгрузки перетеканием определились два основных направления. Первое направление основано на гидрогеодинамических расчетах с использованием данных береговых наблюдений. Второе – на непосредственных измерениях в субаквальных условиях. Рассмотрим их более подробно.

Первое направление – гидрогеодинамический метод. Идея этого метода достаточно проста и логична. Вначале, для приморской части артезианских структур выполняется анализ геологических, геолого-структурных и гидрогеологических условий с выделением водоносных горизонтов и комплексов, погружающихся под уровень моря. Для выделенных объектов строятся карты гидроизогипс (гидроизопьез) и водопроводимости. Количественная оценка подземного стока в море определяется по уравнению Дарси для каждой из выделенных лент тока.

Кроме того, при изучении субмаринной разгрузки перетеканием существенное значение имеет выделение участков (областей) разгрузки в прибрежной зоне и на шельфе. Очевидно, что нижнюю (морскую) границу разгрузки будет определять гидродинамическое равновесие между гидростатическим напором морских вод и потоком разгружающихся вод. Для выделения участков субмаринной разгрузки перетеканием на дне (определения морской границы) может быть использован метод Р. Джамалова, достаточно подробно изло-

женный в работах [Джамалов, 1973, Джамалов и др., 1976]. Основные положения метода сводятся к следующему. Вначале, на основе информации о пьезометрических напорах в водоносных горизонтах выбирается ряд профилей для каждой линии тока. Чаще всего это делается по профилю скважин, имеющих многолетние режимные наблюдения. Затем для этих профилей находится математическая зависимость, описываемая функцией вида $H = f(L)$, где H – напор, L – расстояние. Следующим шагом является аппроксимация полученных зависимостей в пределы морской акватории, проводимая с учетом морфологических особенностей морского дна. Аппроксимируемые зависимости должны отвечать ряду требований. Например: минимально реагировать на случайные погрешности наблюдений, соответствовать закономерностям диапазона изменения пьезометрических уровней, не иметь резких переломов и др. Аппроксимацию зависимостей можно проводить как с помощью подбора, так и с использованием известных математических решений, в том числе с использованием метода наименьших квадратов. Пример подобных построений для акватории Каспийского моря показан на **рис. 5.4**.

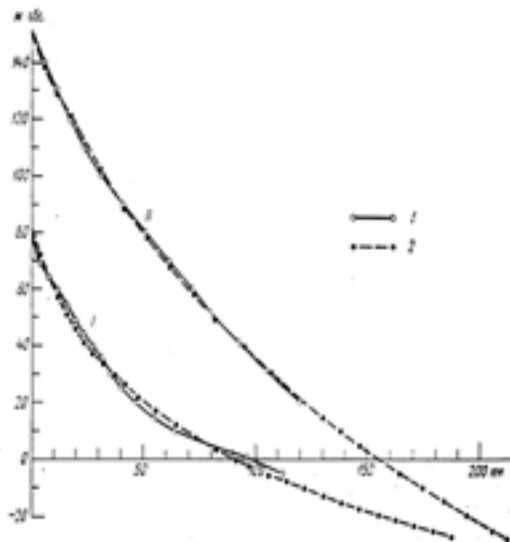


Рис. 5.4. Пьезометрические профили водоносных комплексов побережья Каспийского моря [Зекцер и др., 1984]

I – верхне-плиоценовый водоносный комплекс Терско-Кумского артезианского бассейна; II – средне-миоценовый водоносный комплекс Мангышлакского артезианского бассейна. 1 – фактическая, 2 – аппроксимированная кривая.

После завершения этих операций строится карта пьезометрических поверхностей водоносного горизонта в пределах акватории и, таким образом, выделяются области субмаринной разгрузки напорных вод инфильтрационного типа. Процедуру выделения областей разгрузки следует проводить одновременно с анализом геолого-структурных особенностей района исследований.

Расчетный гидрогеодинамический метод успешно использовался учеными Института водных проблем РАН для оценки подземного стока во внутренние моря (Балтийское, Каспийское), некоторые крупные озера, а также в ИМР для отдельных участков побережья западного Крыма.

Второе направление. Методы непосредственного измерения параметров субмаринной разгрузки перетеканием. Экспериментальные наблюдения с измерением параметров субаквальной (в акваторию крупных озер) разгрузки перетеканием выполнялись в 70–89 годах прошлого века специалистами США и России. Проведение таких наблюдений требует использования водолазной техники и специального оборудования: расходомеров различных конструкций, пьезометров, иглофильтров и др. Не смотря на то, что общепринятой методики такого рода работ не существует, ряд приемов и подходов вполне может быть заимствован для изучения гидрогеологии Украинского шельфа.

Постепенно накопленный опыт проведения экспериментальных работ позволил определить их последовательность. Непосредственным измерениям в очагах разгрузки предшествуют поисковые работы, включающие инфракрасную аэрофотосъемку, гидрохимические, геофизические и визуальные наблюдения. Такой поисковый комплекс был использован в акватории оз. Юта (США). В результате исследований обнаружена и околтурена область субаквальной разгрузки подземных вод длиной в 5 км и шириной до 3 км [Hydrology, 1980].

Наиболее масштабные измерения параметров субаквальной разгрузки с помощью расходомеров проводились в акватории озер Салми (штат Миннесота, США) и Туапо (Новая Зеландия) [Lee, 1977, Lack et al., 1978]. Для измерения расхода при вертикальной фильтрации подземных вод через донные отложения использовалась простая конструкция в виде цилиндра определенного сечения, вдавливаемого в грунт. В верхней закрытой части цилиндра к выходному отверстию присоединялись водосборные устройства различных конструкций. Наиболее примитивным был пластиковый мешок, прикрепляемый к выпускному штуцеру. Такие же приемы исследований использова-

лись при изучении субмаринной разгрузки в заливе Great South Bay (штат Нью-Йорк, США) [Quantifying, 2006]. В результате измерений величина разгрузки в залив была оценена в 220 тыс. м³/сут. Похожие методы и приемы разрабатывались Институтом водных проблем РАН и реализовывались для изучения водного баланса оз. Балхаш. Кроме расходомеров (фильтрометров) для оценки величины разгрузки применялся игольчатый зонд, оснащенный датчиками температуры и электропроводности, игольчатый фильтр для измерения пьезометрических напоров [Зекцер и др., 1986, Методические, 1987].

Методы выявления очагов субмаринной разгрузки перетеканием в морских акваториях в принципе мало отличаются от аналогичных методов в озерах. Отличие состоит лишь в минерализации и химическом составе разгружающихся и вмещающих вод. Последовательность и состав поисковых работ сохраняются. Для обнаружения очагов субмаринной разгрузки пресных подземных вод ИВП РАН предложен пашущий зонд. Буксируемый за судном – носителем пашущий зонд был изготовлен в одном экземпляре и представлял собой измерительный комплекс, соединенный кабель-тросом с регистрирующей аппаратурой, размещенной на судне. При профильном изучении морского дна комплекс позволял проводить непрерывные наблюдения за рядом параметров: температурой, электропроводностью воды и давлением. Кроме того, пашущий зонд совмещался в работе с сейсмоакустическим профилографом [Месхетели и др., 1984]. С помощью этого измерительного комплекса были выявлены участки субмаринной разгрузки перетеканием на шельфах Абхазии и Болгарии (Черное море) и Литвы (Балтийское море).

Использование пашущего зонда не всегда эффективно. В очагах со слабой вертикальной фильтрацией градиенты температуры и солености чрезвычайно малы. Такие очаги не могут быть обнаружены придонными измерениями, так как зона дисперсии располагается ниже уровня дна. В этом случае приходится изучать химический состав поровых растворов. В практике морских гидро- и геохимических исследований традиционно поровые растворы получали в лабораторных условиях отжатием или центрифугированием керн морских скважин. Керн приходилось парафинировать, а сама процедура отделения поровых вод занимала достаточно много времени. В середине 80-х в ИМП (Мингео УССР) был предложен способ получения поровых растворов без бурения скважин и создана оригинальная установка, схема которой приведена в работе [Юров-

ский и др., 2005]. Установка и водолазное обеспечение успешно использовалась в течение двух сезонов в Азовском и Черном морях.

Послойное изучение химического состава и минерализации поровых вод позволяет оценить миграционные характеристики. Количественная оценка величины субмаринной разгрузки по гидрохимическим данным может выполняться следующим способом [Методические, 1987]. Если известна соленость (минерализация) поровых растворов в нескольких (по крайней мере, в двух) интервалах опробования колонки грунта, соленость придонного слоя и коэффициент диффузии соли в грунте, для расчета используется уравнение

$$a U^b = U - C \quad (5.1)$$

где:

$$a = (S_1 - S_b)/(S_2 - S_b); C = (S_2 - S_1)/(S_2 - S_b);$$

$$b = H_1/H_2; U = \exp(-VH_1/D);$$

S_1, S_2 и S_b – соответственно соленость в интервалах 1, 2 и в придонном слое водоема; H_1 и H_2 – глубины интервалов 1 и 2; V – коэффициент фильтрации. (D – коэффициент диффузии соли в осадках). Относительная контрастность (K) в интервалах 1 и 2 не должна быть меньше 0,1. То есть $K = (S_1 - S_2)/S_b > 0,1$.

Пределы применимости метода определяются по скорости (коэффициенту фильтрации) в пределах: 10^{-5} м/сут $< V < 2 \cdot 10^{-3}$ м/сут

Анализ современных представлений и методов изучения субмаринной разгрузки перетеканием показывает следующее. Теоретическое обоснование методов количественной оценки субмаринной разгрузки перетеканием достаточно хорошо разработано. Использование расчетных схем по лентам тока и само уравнение Дарси очевидно не нуждается в комментариях. Более сложные расчетные схемы, описывающие взаимосвязь водоносных горизонтов системой дифференциальных уравнений в частных производных, были предложены Н. Огильви [Огильви и др., 1972]. Решение подобного рода задач в настоящее время вполне возможно с помощью современной вычислительной техники. Для этого потребуются создание соответствующего программного обеспечения, что не должно вызвать серьезных затруднений. Большую сложность на практике составит определение такого параметра, как коэффициент перетекания (C) через разделяющие систему слабопроницаемые и глинистые слои. По вполне обоснованному мнению [Зекцер и др., 1984] « для решения си-

стемы уравнений относительно «С» необходимо располагать данными о распределении по расчетной области фильтрации значений напора, водопроницаемости, питания (разгрузки) через верхнюю, нижнюю и боковые границы расчетной водоносной системы». То есть возникают определенные трудности корректного решения задачи, связанные с ограниченной изученностью прибрежно-морских территорий и, следовательно, с достоверностью исходных гидрогеологических параметров.

Следует высказать отдельные замечания и по приборному обеспечению изучения субмаринной разгрузки перетеканием. Эти замечания представляются нам достаточно важными, поскольку изготовление приборов для гидрогеологического изучения Украинского шельфа потребует соответствующих финансовых издержек. Так, объективное рассмотрение и проведенный нами анализ работы пашущего зонда, позволяет судить о следующих его конструктивных недостатках:

1. Высокая скорость буксирования зонда (до 10 км/час) создает выраженный турбулентный след. В результате, датчики на задней крышке зонда фиксируют не среднюю соленость (электропроводность) придонного слоя, а соленость нижней части турбулентного следа. То есть, при расчете средней солености S следует проводить интегрирование не по высоте зонда (h), а по высоте турбулентного следа ($h \ll H$):

$$S = 1/H \int_0^h S dz, \quad (5.2)$$

Практическое решение задачи может быть двояким. Либо следует вывести верхний электрод за границу турбулентного следа, либо регулировать высоту следа, эмпирически задавая разные скорости буксирования.

2. Соленость морской воды – величина переменная и меняется с глубиной. Чаще всего она уменьшается с уменьшением глубины, а также на уровне слоя скачка (термоклина). Следовательно, датчики могут отмечать понижение солености не за счет разгрузки пресных подземных вод, а за счет ее стратификации по глубине. Для выделения слабоградиентных аномалий, в случаях, когда изменение солености на профилях с большим уклоном дна превышает допустимую погрешность измерений 0,05 ‰, можно рассчитать допустимую (без DS и дополнительного опробования) длину профиля l , выразив ее через вертикальный градиент солености:

$$\text{grad}_z S = DS_B/DZ; \quad (5.3)$$

Отсюда

$$DS_B = D Z \text{ grad}_z S \approx 0,05 \text{ ‰}; \quad (5.4)$$

Если $DZ/l = \text{tg } a$,

$$DZ = l \text{ tg } a > \text{grad}_z S_B (l \text{ tg } a) \approx 0,05 \text{ ‰}, \quad (5.5)$$

Откуда допустимая длина профиля равна:

$$l \approx 005/\text{grad}_z S_B \text{ tg } a \quad (5.6)$$

где a – угол наклона дна, l – допустимая длина профиля.

При исследованиях на больших по площади полигонах на шельфе, по-видимому, необходимо учитывать и горизонтальный градиент солености, направление течений вблизи устьев рек, апвеллинг, сгонно-нагонные явления.

Кроме того, конструктивные особенности накладывают также другие ограничения в использовании пашущего зонда. Его невозможно использовать при рельефе дна с резкими уступами, в прибрежной зоне с глыбовыми навалами и местах обнажения на дне карстующихся пород. Валунные отложения и глыбовые навалы – продукт волновой переработки селевых выносов – широко распространены в прибрежной зоне горного Крыма и Кавказа. Они протягиваются вдоль берега на значительные расстояния и имеют ширину от десятков до сотни метров. Обнажения карстующихся пород на дне встречаются в западном Крыму у мыса Айя и ряде участков Кавказского побережья (п. Гантиади, г. Гагра и др.).

Подводя итоги, кратко рассмотрим еще одну расчетную схему субмариной разгрузки подземных вод. Слабопроницаемые слои, перекрывающие области субмаринной разгрузки, в принципе нельзя считать водоупорными. Вертикальная разгрузка перетеканием может происходить по литологическим окнам. При их отсутствии, в механизме разгрузки основную роль играют диффузионно-осмотические процессы. Скорость осмотической фильтрации V можно представить в виде [Рельтов и др., 1954]:

$$V = K_0 \text{ grad } C. \quad (5.7)$$

где K_0 – коэффициент осмотической фильтрации.

Коэффициент K_0 – величина переменная, зависящая от состава растворов, их концентрации и плотности породы:

$$K_0 = K_\phi \times i \times j \times RT/g; \quad (5.8)$$

где K_ϕ – коэффициент гравитационной фильтрации; $g = r \times g_0$ – объемный вес раствора; R – газовая постоянная (82060 см²/моль град.); T – абсолютная температура; $i = nF_0$ – изотонический коэффициент по Вант – Гоффу; n – число ионов образовавшихся при полной диссоциации молекул электролита; F_0 – осмотический коэффициент, учитывающий взаимодействие ионов в растворе и характеризующий способность породы препятствовать диффузии солей. При $j = 0,5-1$ порода полупроницаема, при $j=0$ грунт полностью лишен полупроницаемых свойств.

Плотность потока диффузии J рассчитывается по выражению [Павлов, 1977]:

$$J = n_3 D_3 z \text{ grad } C_{H20} \quad (5.9)$$

где n_3 – коэффициент пористости, D_3 – коэффициент самодиффузии, C_{H20} – градиент концентрации, z – мощность слоя диффузии.

Заметим, что порядок величин диффузионно-осмотической фильтрации прямо связан с площадью, на которой она происходит. Проведенные нами расчеты для конуса выноса r . Псеузапсе показали, что величина J составляет 110–165 м³/сут на один квадратный километр. Данные расчета хорошо согласуются с оценкой подруслового потока, выполненной по уравнению Дарси.

Методы использования радиоактивных трассеров

Одним из подходов к региональной оценке субмаринной разгрузки перетеканием является использование естественных радиоактивных элементов в качестве трассеров. Природные концентрации ряда изотопов, в том числе ²²²Rn и ²²⁶Ra, в подземных водах обычно много выше, чем в морской воде. Количественная оценка концентраций изотопов может производиться как в придонных слоях морской воды, так и на вертикальных профилях в морских осадках (поровые воды). Во втором случае распределение концентраций изотопов в однородной среде может быть описано одномерной адвективно – диффузионной моделью.

В отечественной литературе наиболее полно происхождение изотопов в природных водах, теоретические положения и методика измерений их концентраций в воде изложена в работе В. В. Гудзенко и В. Т. Дубинчука [Гудзенко и др., 1987]. Повышенное содержание радона в подземных водах по отношению к морской воде является

одним из показателей субмаринной разгрузки. Этот показатель использовался при изучении субмаринных источников в Крыму. В частности было установлено, что изолинии концентраций радона и изолинии солености в области разгрузки имеют сходную форму. Предпринимались попытки выявления субмаринной разгрузки с помощью радоновой съемки в Украине [Кирияков и др., 1982].

Использование радиоизотопных методов широкое применение получило за рубежом [Aggarwal et al., 2005, Barnett et al., 2006, Hisssein et al., 1999]. Региональная оценка величины субмаринной разгрузки подземных вод с помощью изотопов радия базировалась на двух следующих предпосылках:

1. Подземные воды более обогащены изотопами радия, чем поверхностные.
2. Воды континентального шельфа более обогащены изотопами радия, чем в открытом океане.

Первое положение (предпосылка) общеизвестно. Это по существу аксиома. Вторая предпосылка основана на реальных наблюдениях и известных фактах. Например, было доказано (Moore, 1996), что воды континентального шельфа вдоль юго-восточного берега США более обогащены изотопом ^{226}Ra , причем с отчетливым градиентом, чем воды Атлантического океана. Используя оценку времени нахождения этих вод на шельфе и принимая во внимание установившиеся условия, можно вычислить поток в открытое море излишков изотопа (рис. 5.5).

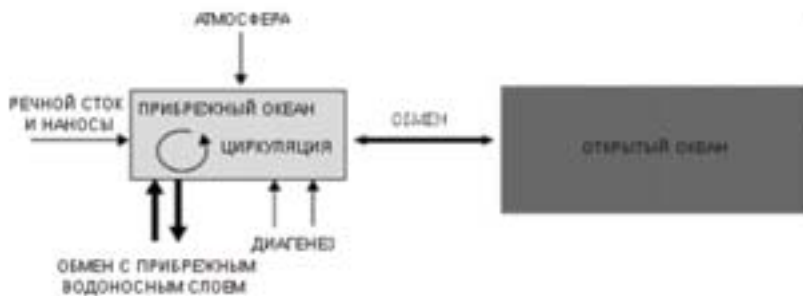


Рис. 5.5. Блок – схема, показывающая возможность использования изотопов радия для исследования водообмена между побережьем и открытым океаном [Quantifying, 2006].

Затем, автор схемы предложил последовательность оценки субмаринной разгрузки на основе естественных трассеров:

- определить трассирующие элементы в водоносных горизонтах, которые не свойственны морской воде;
- оценить интенсивность водообмена прибрежных (шельфовых) вод с открытым океаном;
- вычислить параметры потока трассирующих элементов прибрежной зоны к открытому океану и, следовательно, из водоносного горизонта в прибрежную зону;
- измерить среднюю концентрацию трассера в подземных водах и вычислить его расход;
- использовать концентрации других компонентов (органические вещества, металлы), содержащихся в подземных водах или их отношения к трассирующему элементу, чтобы оценить их потоки.

В настоящее время, использование изотопов радия получило широкое применение в исследованиях субмаринной разгрузки перетеканием. Измерения проводились на Атлантическом побережье США, на островах Сицилия и Маврикий, в Бразилии и Австралии. В связи с тем, что измерения концентраций неустойчивых изотопов радия и радона очень трудоемки (отбор проб, определение концентраций), были разработаны новые технологии с применением специального адсорбера «Mn-fiber» и «отсроченного подхода числовых совпадений» изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra γ -спектрометрией. При этом отмечается, что изотопы радия не могут быть применимы для исследования субмаринных источников [Quantifying, 2006].

В рамках предложенной выше модели учет подразумевает оценку общего превышения концентраций над фоновым ^{222}Rn на единицу площади. Распад элемента не рассматривается, так как потоки оцениваются в очень коротком интервале времени, относительно полураспада ^{222}Rn .

Достаточно надежная локальная оценка величины субмаринной разгрузки с использованием балансового подхода может быть выполнена с измерениями концентраций ^{222}Rn . Надежные оценки стали возможными после того, как Барнеттом (Barnett и др.) предложена методика непрерывного измерения радона, позволившая намного легче анализировать поля концентраций этого изотопа в прибрежно-морских водах [Barnett et al. 2006]. Концептуальная модель оценки субмаринной разгрузки подземных вод с помощью этого трассера показана на **рис. 5.6**.

В рамках предложенной выше модели учет подразумевает оценку общего превышения концентраций над фоновым ^{222}Rn на еди-



Рис 5.6. Концептуальная модель использования непрерывных наблюдений за концентрациями радона для оценки субмаринной разгрузки подземных вод [Barnett et al. 2006].

ницу площади. Распад элемента не рассматривается, так как потоки оцениваются в очень коротком интервале времени, относительно полураспада ^{222}Rn .

Иной подход состоит в использовании спектрометрии и γ – излучателя, применяемых в натуральных исследованиях лабораториями МАГАТЭ. Специальная аппаратура позволяет непрерывно анализировать содержание изотопов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U 232 и ^{232}Th . Спектрометры применяются и для непрерывного стационарного измерения продуктов распада радона, в частности торона (^{220}Rn). Такие измерения проводились в прибрежных водах Сицилии и Бразилии [Quantifying, 2006].

Таким образом, изотопные методы можно считать достаточно перспективными в изучении региональных и местных особенностей субмаринной разгрузки подземных вод.

Нерадиоактивные трассеры

В качестве естественного трассера для изучения процессов субмаринной разгрузки подземных вод за рубежом чаще всего используется метан. В последнее время специально для этих целей в Германии был разработан специальный датчик «METS» (Capsum Technologies GmbH, Trutttau). Датчик позволяет в автоматическом режиме проводить непрерывные измерения концентраций метана в воде [Kim et al., 2002].

В Украине для обнаружения очагов субмаринной разгрузки в качестве индикатора используется содержание в воде кремнекислоты $[\text{SiO}_3]^{2-}$. Основанием для выделения этого трассера служит то обстоятельство, что содержание кремнекислоты в пресных подземных водах и морской воде различно [Кондратьев и др., 1998]. В работе показано, как с помощью трассера уточнены ареалы распреснения в районе м. Айя (Крым).

При выборе искусственных трассеров обычно используются различные красители. Так для выявления направления и скорости движения подземных вод от областей питания к областям разгрузки в карстовых массивах горного Крыма использовался флуоресцеин. С помощью искусственных трассеров может успешно определяться действительная скорость движения подземных вод в областях субмаринной разгрузки. Экспериментальные работы по определению действительной скорости с использованием нигрозина проводились в конусе выноса р. Псезуапсе (побережье северного Кавказа) [Юровский, 1983]. Запуски красителя осуществлялись в шурфах, расположенных на берегу, а выходы красителя фиксировались на подводном склоне водолазами.

В литературе описан опыт исследования субмаринной разгрузки при сочетании радиоактивных и нерадиоактивных естественных трассеров. Именно такой подход был использован для оценки субмаринной разгрузки в прибрежной зоне северо-восточной части Мексиканского залива [Cable et al., 1996]. Одновременные измерения концентраций радона и метана в прибрежных водах сопоставлялись с величиной субмаринной разгрузки перетеканием, причем совпадение было практически полным – до 95 % обеспеченности. Авторы работы также отмечают, что вблизи субмаринных источников концентрации радона и метана везде были обратно пропорциональны солености морской воды.

Представляется очевидным, что в перспективе изучения шельфа следует использовать комбинации трассеров различного происхождения: радиоактивные, естественные и искусственные. Не исключено, что в качестве радиоактивных трассеров может быть использован ряд долгоживущих изотопов, образовавшихся в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в частности, наиболее распространенных стронция и цезия. Миграция радионуклидов в компонентах окружающей среды, в том числе в природных водах и грунтах, достаточно хорошо изучена, и эти проблемы обсуждались на различных научных совещаниях [Проблемы..., 1983].

В итоге рассмотрения процессов субмаринной разгрузки перетеканием можно сделать следующий вывод. Теоретические вопро-

сы, связанные с этим сложным природным процессом, разработаны весьма подробно. Существующие расчетные схемы позволяют с достаточной точностью выполнить оценку величины разгрузки, как в региональном плане, так и на отдельных локальных участках. Сложнее обстоит дело с инструментальными наблюдениями из-за отсутствия стандартного оборудования и приборного обеспечения.

Отдельные шаги в развитии этого направления были сделаны при реализации совместного проекта ЮНЕСКО и Международного Атомного Энергетического Агентства (МАЭА) [Submarine, 2004]. Проект был рассчитан на 5 лет (2000–2005 гг.) и предусматривал теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические исследования касались разработки различных моделей субмаринной разгрузки с учетом анизотропной природы прибрежных осадков, дисперсии и приливо-отливных явлений. Одновременно рассматривалась терминология, научное значение и управление субмаринным стоком. Сравнительные экспериментальные исследования выполнялись в различных гидрогеологических условиях: на прибрежно-морских равнинах, в карстовых областях, в зонах вечной мерзлоты, в кристаллических породах (зоны разрывных нарушений) и в вулканогенных районах. В проведении экспериментов использовались простые и усовершенствованные (технологически сложные в изготовлении) ловушки различных конструкций, причем особое внимание уделялось изотопным исследованиям и измерениям концентраций радона. Отмечая достоинства и недостатки каждого метода исследований, авторы доклада отмечают, что оценка величины субмаринной разгрузки в любом участке побережья подвержена широкой изменчивости и должна выполняться различными методами по достаточно большому пространственным и временным диапазонам. От себя добавим: результаты работ по программе ЮНЕСКО, опубликованные в печати и на 35 специальных сайтах Интернета, нуждаются в отдельном критическом рассмотрении, выходящим за рамки настоящей монографии, вследствие очень большого объема информации.

5.2. Количественная оценка активной субмаринной разгрузки подземных вод (субмаринные источники)

В Средиземном море источники пресной воды на морском дне были известны с античных времен. О них подробно рассказывается в трудах Страбона, Плиния, Лукреция. Субмаринные источники использовались для заправки судов пресной водой, водоснабжения на-

селенных пунктов, а термальные береговые источники для горячих ванн (этруски). Однако, научно обоснованных методов оценки их дебита до недавнего времени не существовало. Дефицит пресной воды в аридных областях и увеличение населения в приморских районах вынудил обратить более пристальное внимание на этот нетрадиционный способ водоснабжения. С середины пятидесятых годов появляется ряд публикаций, посвященных поиску очагов субмаринной разгрузки с использованием современных технических средств, включая тепловую аэрофотосъемку, а позднее спутниковые наблюдения.

Этапам изучения и оценке дебитов субмаринных источников посвящен ряд глав монографии «Гидрогеология прибрежной зоны» [Юровский и др., 2005]. В них проанализировано большинство отечественных разработок и некоторые зарубежные. Наиболее теоретически обоснованные и прошедшие апробацию в натуральных условиях методы сведены в **таблицу 5.1**.

Данные, приведенные в таблице, нуждаются в комментариях. Первый (индикационный) метод предусматривает использование радиоактивного трассера. Капсула с равномерно вытекающим радиоактивным элементом помещается в грифон источника и далее, по изменениям радиоактивности в факеле источника, определяется его расход (дебит). Метод измерения достаточно прост, однако экологически не безопасен. Второй метод, основанный на решении уравнения движения, применим для высокодебитных источников и связан с трудоемкими подводными наблюдениями, пробоотбором воды в определенных точках, расположенных на вертикальной оси факела, применением специального оборудования.

Два следующих метода (третий и четвертый), связанные с температурными наблюдениями, как бы дополняют друг друга. В первом случае они применимы только для высокодебитных субмаринных источников, факелы которых достигают поверхности моря и образуют контрастные температурные аномалии. Второй – геотермический метод – разработан для малодебитных источников или очагов субмаринной разгрузки с малоградиентными придонными аномалиями. Он также основан на уравнении теплового баланса, но с учетом измерения температуры и теплофизических свойств донных отложений (теплоемкости и теплопроводности), для чего требуются измерения температуры ниже уровня дна [Лялько и др., 1980].

Сложность в проведении измерений для оценки дебита по методам 2 и 5 (см. Таблицу 5.1) связана с установкой различных датчи-

	Исходное уравнение	Расчетная формула
1. Индикаторный	—	$2,31g(C/C_0) = QHv$
2. По уравнению движения	$v_z \frac{\partial v_z + v_y}{\partial z} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{A_T}{\rho_0} \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + v_y \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right)$ <p>В упрощенном виде</p> $g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{A_T}{\rho_0} \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} = 0$	$v_{\text{max}}^{-2/3} = \frac{0,55(Z/2 - H)}{H^2 (Z'/D + 2)^{-1/3} (\sqrt{Dg(\rho_{\text{сп}} - \rho_{\text{max}})} / \rho_{\text{fl}})^{-2/3}}$
3. По уравнению теплового баланса	$C\gamma Q (t - t_{\text{сп}}) = (S_U + S_K - S_R - S_T) F_{\text{П}}$	$Q_{\text{max}} = v_{\text{max}} \cdot \pi D^2 / 4$
4. Геометрический	$\lambda_1 \frac{t_1 - t_{2(\text{ин})}}{\Delta_2} - c\rho v \frac{t_2(\text{ин}) - t_3}{c\rho v l / \lambda - 1} + c\rho v (t_3 - t_{2(\text{ин})}) = 0$	$v_{\text{max}} = -\frac{\lambda}{c\rho l} \ln \left[1 - \frac{v\rho(t_{2(\text{ин})} - t_3)\Delta l}{\lambda u(t_1 - t_{2(\text{ин})})} \right]$
5. По уравнению турбулентности	$v_x \frac{\partial C}{\partial x} = D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$	<p>Решение на модели БУСЭ-70 с граничными условиями</p> $\frac{\partial C}{\partial x} \Big _{x=x_1} = 0; c \Big _{x=x_2} = c_M$
6. По формуле смещения	—	$Q = q_1 W_{\text{П}} - q_2 W_{\text{П}2}$
7. По уравнению расходов	$Q = q_1 + q_2 = \int_{x=0}^{x=B} \int_{y=h_1}^{y=h_2} v_1 \cos \alpha dx dy + \int_{x=0}^{x=B} \int_{y=h_1}^{y=h_2} v_2 \cos \alpha dx dy$	$Q = \overline{v_1} \omega_1 + \overline{v_2} \omega_2 m$
8. По уравнению расхода и закону сохранения массы	$Q_1 = \iint u dz; S_1 Q = \iint u S_1 dy dz$	$Q_0 = Q_1 (S_2 - S_1) / (S_2 - S_0)$

Таблица 5.1 – Методы количественной оценки субмаринной разгрузки подземных вод

ков внутри факела разгружающихся вод, а так же отбора проб воды. В натуральных условиях они могут быть выполнены только с помощью легководолазной техники. Все эти операции к тому же должны быть методически строго обоснованы, т. е. должны учитывать внутреннюю гидродинамическую структуру вертикальных факелов. Изучение факелов на гидравлической модели показало всю сложность этой задачи. На **рисунке 5.7** показаны два варианта стабилизировавшихся факелов в стратифицированной среде.

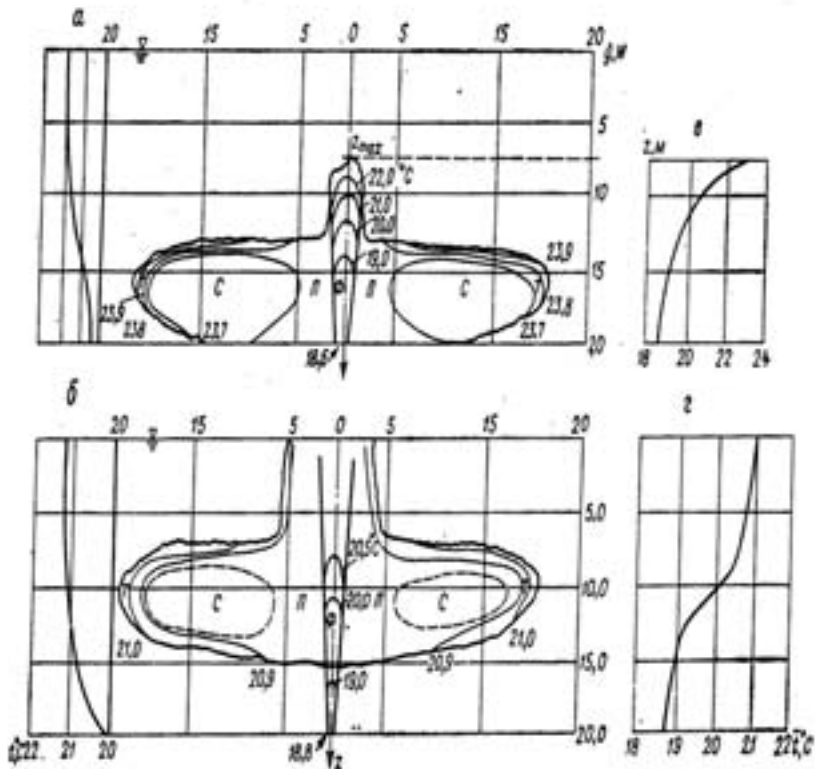


Рис. 5.7. Факелы с отрицательной плавучестью в стратифицированной среде [Коротков и др., 1980]

а, б – стратификация среды; в, г – измерения температуры по вертикальной оси факела Z.

Из рисунка 5.7 видно, что внутри факела выделяется несколько характерных областей.

Область Ф. Собственно факел с определенным распределением температур (плотностей) в каждом сечении по вертикальной оси, подчиняющимся закону нормального распределения. Нижняя изотерма ограничивает ядро факела, где значения температуры не меняются.

Область П. Гидродинамика этой области определяется, главным образом, подсосом в центральную часть факела морских вод и перемешиванием с морской водой в «обратном» потоке (направленном вниз). Плотность и температура меняются здесь весьма резко и неупорядочено.

Область С. Область сравнительно стабильных значений температуры, плотности и скорости движения воды. Градиенты этих параметров внутри области весьма малы и их можно принять за константу.

Область Т. Характеризуется, в основном, тепломассообменом на границе факел – вмещающая среда. Темпы тепломассообмена определяются разностью температур и плотностей факела и вмещающей среды.

Основным практическим выводом из изучения внутренней структуры факелов представляется важная методическая рекомендация. Все измерения следует проводить на центральной оси факелов z . При отклонении от нее надо иметь в виду, что в каждом горизонтальном сечении все параметры описываются законом нормального распределения (распределение Гаусса). Учитывая, что большинство методов определения дебита субмаринного источник связано с формулами смешения, пробы на определение минерализации подземных вод следует отбирать из ядра факела и строго по его вертикальной оси.

Помещенные в таблице 5.1 методы 7 и 8 разрабатывались для условий разгрузки подземных вод в карстовых полостях в конце 90-х годов. В настоящее время они продолжают совершенствоваться. Так, с 2007 года выполняется научно-технический проект Национальной Академии наук Украины: «Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования морской среды с целью рационального, экологического и техногенно- безопасного использования ее ресурсного потенциала». В рамках выполнения проекта проводятся натурные измерения величины субмаринной разгрузки подземных вод и совершенствование методики, приборов и аппаратуры для исследований [Геология..., 1983, Коротков и др., 1980]. Субмаринные источники в районе исследований не имеют классических факелов. Разгрузка подземных вод происходит латеральным потоком в затопленных и полузатопленных карстовых полостях (пещерах и гротах). Методика их изучения существенно отличается от обычной, т. е. ис-

точников, расположенных на морском дне. За основу определения дебита субмаринных источников у мыса Айя была принята теоретическая схема и модифицированное уравнение, приведенное ранее в работе [Юровский, 1998]. Модифицированное уравнение дебита для отдельно взятой полости имеет следующий вид:

$$Q = \int_0^h \int_0^l U(x, y) \frac{S\hat{\sigma} - S(x, y)}{S\hat{\sigma} - S\bar{\sigma}} dx dy ; \quad (5.10)$$

где Q – дебит субмаринного источника (расход пресной воды из карстовой полости); x, y – ширина и глубина потока распресненных вод на входе в полость; l, h – максимальные ширина и глубина полости; $U(x, y)$ – средняя скорость течения в точке (x, y) ; $S\hat{\sigma}$ – фоновая соленость (минерализация); $S(x, y)$ – соленость (минерализация) в точке (x, y) ; Snn – соленость (минерализация) пресной воды.

Предварительные выводы об использовании этих методов, основанные на четырехлетних теоретических и экспериментальных исследованиях, заслуживают внимания. Они нашли свое отражение в опубликованных работах [Иванов и др., 2008 а, б.] Проводящаяся МГИ разработка новых методов исследования субмаринного родникового стока, испытание новых образцов приборов показало перспективность их дальнейшего использования для поведения морских гидрогеологических работ.

5.3. Изучение субмаринной разгрузки подземных вод по разрывным тектоническим нарушениям

Дизъюнктивные (разрывные) тектонические нарушения в миграции подземных вод могут играть двоякую роль. В одних случаях они являются барражами, поскольку перетертые породы и плотная тектоническая брекчия практически неводопроницаемы. В других являются участками повышенной водопроницаемости за счет высокой трещиноватости и кавернозности консолидированных пород на некотором удалении от сместителя. Известны случаи, когда разница в водопроницаемости на таких участках отличается на порядки. Например, в касперовском водоносном горизонте (толща 113 метров, пермского возраста, штат Вайоминг, США), сложенном известняками и песчаниками, водопроницаемость в зоне разломов в сто раз выше, чем в среднем по горизонту. Эта информация является основным критерием выбора точек для бурения скважин на воду [Huntoon et al., 1979]. Детальные наблюдения при проходке Ялтинского гидротон-

неля показали следующее. Внешние части зоны тектонических нарушений в карбонатных породах характеризуются зияющей трещиноватостью на расстоянии 50–75 метров от сместителя (чаще всего в опущенных блоках). На эти зоны приходится до 70 % общего объема водопритоков в гидротоннель [Комплексные, 1971].

Практически каждое разрывное тектоническое нарушение обладает своими индивидуальными чертами. Вместе с тем, наблюдаются и общие закономерности гидродинамики в приразрывных зонах. Крупные нарушения часто характеризуются чередованием участков активной трещиноватости и барражами. Такие разрывы пересекают несколько водоносных горизонтов и создают условия вертикальных перетоков между этажами. То есть, зоны повышенной проницаемости представляют собой «гидрогеологические окна» тектонического происхождения, через которые происходит водообмен между водоносными горизонтами. Перетоки подземных вод создают в водоносных горизонтах аномальные гидрохимические и геохимические очаги в областях смешения. К очагам водообмена зачастую приурочена миграция спонтанных и растворенных газов: метана, радона, гелия, CO_2 и др. Ряд таких очагов обнаружен в верхней части шельфа и в прибрежной зоне Черного и Азовского морей. Остановимся только на двух конкретных примерах.

Западный Крым (Тарханкутский полуостров). Разрывные дислокации на геологических и тектонических картах в пределах полуострова имеют разную рисовку, отражая субъективные представления авторов. Об одном из вариантов геологического строения и тектоники полуострова можно судить по схеме, приведенной в монографии Ю. В. Казанцева «Тектоника Крыма» [Казанцев, 1982]. В ней принята надвиговая модель строения, основанная на личной интерпретации автора данных бурения и сейсморазведочных работ (МОВ, ОГТ). Общий вид этих построений представлен на **рис. 5. 8**.

Опубликованные Ю. В. Казанцевым структурно–тектонические построения, выполненные с позиций структурного мобилизма, сразу же подверглись ожесточенной критике. Между тем, несмотря на отдельные неточности (в частности, вергентности разрывов) и произвольную трактовку выделения разрывных нарушений, ряд его положений был подтвержден нашими исследованиями. В частности, независимые полевые работы в прибрежных водах и на суше с проведением газо- и геохимических наблюдений выявили ряд аномальных зон в принадвиговых участках дислокаций.

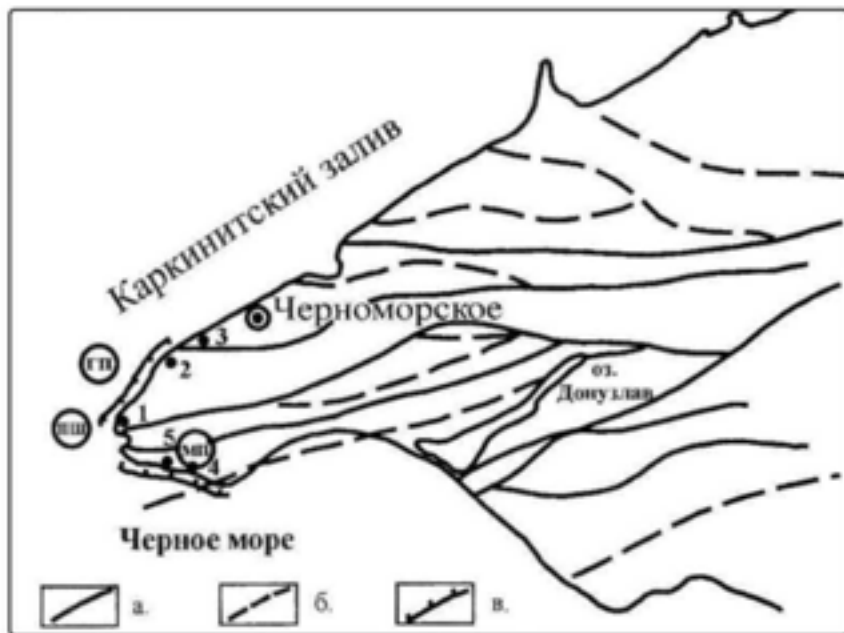


Рис. 5.8. Структурная схема поверхности горизонта А-21 альбского яруса нижнего мела Тарханкутского полуострова [Казанцев, 1982]

Бухты: 1 – Очеретай; 2 – Кучак; 3 – Карамыш; 4 – Сторожевая; 5 – Атлеиш. Структуры: ГП – Голицинское поднятие; ПШ – поднятие Шмидта; МП – меловое поднятие. а – выявленные разрывные нарушения; б – предполагаемые; в – участки поведения детальных работ в прибрежной зоне.

Одновременно, помимо газогеохимических, был выполнен большой объем съемочных работ по изучению трещиноватости на береговых клифах и морфологических особенностях района. Комплекс проведенных исследований позволил установить, что заложение ряда Тарханкутских бухт определенным образом связано с разрывными нарушениями, выделенными Ю. В. Казанцевым. Так, данные съемок трещиноватости показали закономерное уменьшение числа крупных трещин при удалении от сместителя. Положение сместителей характеризовалось аномально высокими значениями гелия, углекислого газа, метана и радона.

На основании этих фактов можно сделать вывод: в большинстве случаев, при активизации тектонических процессов зоны разрывных нарушений представляют собой каналы миграции спонтанных газов и подземных вод. Причем миграция происходит из нижних в верх-

ние структурные этажи геологического разреза. Спонтанные выделения газов проще всего визуально обнаруживаются при подводных наблюдениях. Очаги выделения спонтанных газов были выявлены нами в бухтах пгт. Черноморское, Кипчак, Сторожевая и Очеретай. Наиболее активные выделения газа зафиксированы в центральных частях двух последних из перечисленных бухт. Выходы газа в виде отдельных пузырьков, постоянных струек и массовых выбросов в интермиттирующем режиме наиболее подробно изучены в бухте Очеретай. Постоянное выделение газа дало возможность установить на дне газовые ловушки и изучить его химический состав.

В процессе исследований были отобраны десятки проб газа на дне Тарханкутских бухт и отданы на анализ компонентного состава в разные лаборатории. В большинстве проб преобладал метан со значительной примесью углекислого газа. В ряде проб наряду с метаном было обнаружено присутствие тяжелых углеводородов (до 1,5–3,04 %) вплоть до пентана включительно. Присутствие фракций тяжелых углеводородов однозначно указывает на глубинное происхождение газа, то есть на связь выходов с продуктивными горизонтами мела и дата–палеогена. Это положение подтверждается и величиной отношения предельных углеводородов к непредельным, которое можно считать одним из главных генетических признаков в оценке источника генерации [Геодекян и др., 1991]. Кроме того, для спонтанных газов, отобранных на дне бухт, и газа, отобранного из буровых скважин месторождений Голицинского поднятия с глубины более 2 км, они составляют величины одного порядка.

Детальный анализ гидрохимической обстановки иловых вод и придонного слоя морских вод в очагах разгрузки спонтанного газа показал следующее. В иловых водах рыхлых отложений, заполняющих карстовые воронки, наблюдается пониженное содержание сульфат иона. Причины возникновения относительного дефицита иона SO_4^{-2} на дне Черного моря интересуют не только гидрогеологов, но и океанологов. В работе А. В. Даниленко и А. И. Рябина выдвинуто предположение, что причиной его может быть проявление на дне субмаринной разгрузки бессульфатных подземных вод [Даниленко, 1986]. Некоторые факты свидетельствуют о правомочности такого предположения. Например, подземные воды, вскрытые буровыми скважинами на Голицинском поднятии, действительно имеют низкое содержание сульфат-иона. В процессе углубления скважин Голицино, тип воды менялся от хлор-магниевого до гидрокарбонатного, а содержание сульфатов варьировало от 157,2 до 577,7 мг/л.

Принципиальная возможность перетока глубинных подземных вод по тектоническим нарушениям подтверждается и другими фактами (более подробно они рассмотрены в работах [Лущик и др., 1985. Юровский и др., 1986 а]. К ним относятся аномальные содержания в иловых водах подводных газовых выходов элементов: бора и галоидов: йода, брома. Локальные аномалии такого типа не могут образовываться в обычных условиях прибрежно-морских акваторий. Привнос элементов галоидов можно объяснить лишь субмаринной разгрузкой подземных вод. Действительно, аналогичные повышенные содержания этих галоидов наблюдаются в водах палеогенового водоносного горизонта. Такие данные были получены при опробовании буровых скважин, расположенных в море и на суше.

Восточный Крым (Керченский полуостров). Детальное изучение геологии района строительства Крымской АЭС, в том числе тектоники, геодинамики и сейсмических условий, вызвало необходимость выявления разрывных нарушений в акватории Азовского моря. Местоположение и параметры сейсмогенерирующего Южно–Азовского ретронадвиг (ЮАРН) были определены сейсморазведочными работами (НСАП, МОГТ). Эта крупная дислокация имеет смещение по фундаменту 1,4 км, а в майкопских отложениях 0,5 км. Такие дислокации обычно осложняются более мелкими, опережающими разрывами, с меньшими амплитудами смещения, но достаточными все же для нарушения сплошности водоупоров и образования ослабленных зон. Одним из таких нарушений является опережающий ЮАРН Семёновский надвиг. Из-за малых глубин моря он выделялся газо- и геохимическими методами.

В Арабатском заливе у полуострова Казантип с помощью легководолазной техники были проведены подводные профильные наблюдения. В пробах придонных и иловых вод определялись концентрации растворенных газов: гелия, метана, сероводорода. Одновременно определялись: Eh, pH и общая соленость растворов, а так же концентрации 45 химических элементов в донных грунтах [Юровский и др., 1989]. В практике подводных наблюдений впервые была применена оригинальная установка для отбора поровых вод песчаных отложений. Результаты комплексных геохимических работ приведены на **рисунке 5.9**.

Результаты исследований показали следующее. Поле гелия на участке работ неоднородно. Наибольшие его превышения над фоном в придонных и поровых водах составляли от 0,3 до 1,0 мг/л. Все же эти значения заслуживают внимания, учитывая интенсив-

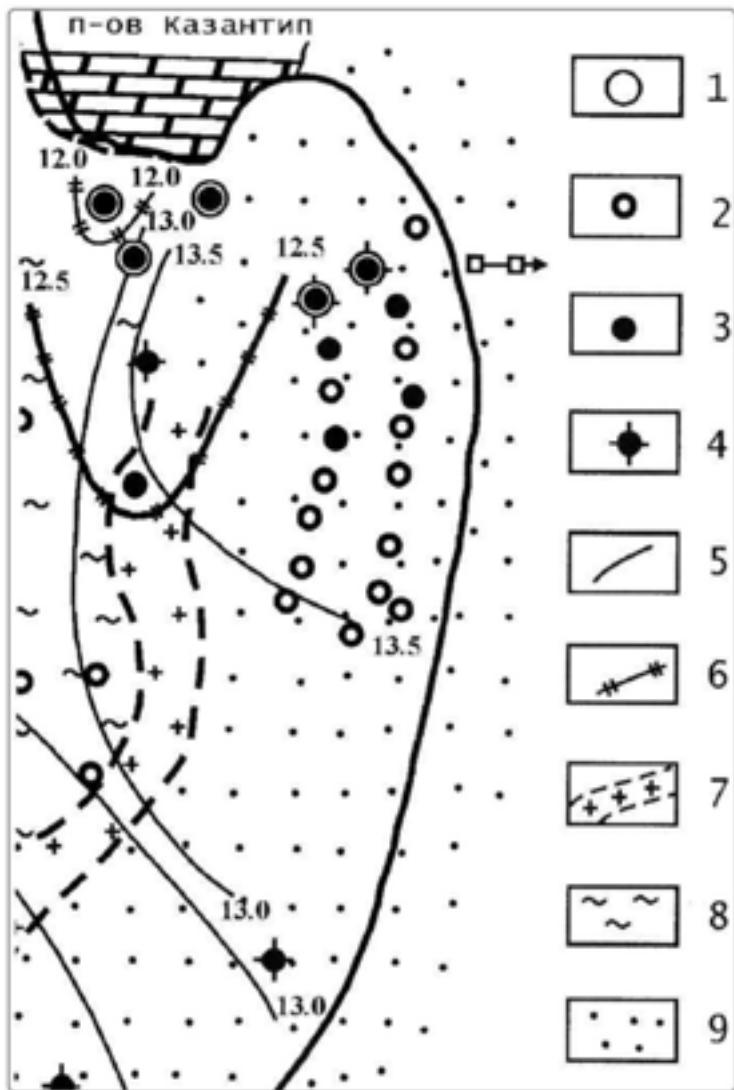


Рис. 5.9. Результаты маршрутных и гидрогазохимических наблюдений в прибрежной зоне Азовского моря (Керченский полуостров) [Юровский и др., 1989]

1 – сероводород в поровых водах; 2 – точки наблюдений; 3 – гелий в придонной воде; 4 – гелий в поровых водах; 5 – изогалины придонных вод; 7 – консолидированные отложения; 8 – неконсолидированные отложения; 9 – пески.

ное волновое перемешивание на мелководье. Соответственно, концентрации в поровых водах составили метана – 0,1–0,2 %, сероводорода – до 67,1 мг/л. В химическом составе донных грунтов оказались повышенными концентрации ряда элементов: Pb, Ag, Zn, Ni, Cu, Li и др. Повышенное их содержание характерно для ряда разрывных нарушений Керченского полуострова, в связи с чем ассоциации этих элементов можно считать индикаторами при трассировании разрывов [Каменский, 1974]. В целом наблюдения показали, что геохимическая обстановка в зонах разрывных нарушений аналогична Тарханкутской.

В северной части Казантипской бухты процессы формирования химического состава придонных и поровых вод происходят на фоне слабой субмаринной разгрузки подземных вод перетеканием. Разгружающиеся воды с минерализацией 2–4 г/л приурочены к трещиноватым, местами закарстованным известнякам неогенового возраста (N_1m), развитым на полуострове Казантип. Разгрузка сопровождается понижением общей солености поровых вод на 1,7–2,0 ‰ и изменением соотношения CO_2/HCO_3 , практически не проявляясь в придонном слое. Слабость проявления разгрузки обусловлена малыми градиентами напора и маломощностью самого водоносного горизонта.

Анализ результатов проведенных работ на Тарханкутском и Керченском полуостровах позволяет сделать следующие выводы. Первый – газо-геохимические и гидрохимические исследования не только подтверждают положение разрывных тектонических нарушений на суше, но и позволяют трассировать их в акватории. Второе, вертикальная миграция флюидов по тектоническим нарушениям из нижележащих водоносных толщ в вышележащие создает аномальные геохимические области не только в самих водоносных толщах, но и в поровых, иловых и придонных водах.

Выявление локальных очагов субмаринной разгрузки на мелководьях прибрежной зоны, а так же трассирование разрывных нарушений в пределы акваторий сопряжено с определенными трудностями. В первую очередь это связано с ограничением возможностей применения традиционных геологических, геофизических и других методов. Поэтому, в настоящее время необходимо повышать достоверность газовых, геологических и гидрохимических наблюдений и совершенствовать методику их проведения в морских условиях.

В последние годы масштабные геофизические и геологические исследования западной части Черноморского шельфа и на континентальном склоне были выполнены Отделением морской геологии

и осадочного рудообразования НАН Украины и Институтом геофизики НАН Украины. Картирование газовых выделений осуществлялось современным высокочувствительным широкоугольным эхолотом, а геологическое строение изучалось с помощью акустического и сейсмического профилирования на разных частотах. В результате этих работ были открыты многочисленные участки выделения газа на морском дне на северо-западном шельфе. В количественном выражении на 01.01.2004 выявлено не меньше 400 групп газовых факелов и две крупные площади газовыделения или поля факелов (рис. 5.10), [Шнюков, 1999 б, Шнюков и др.,2005].

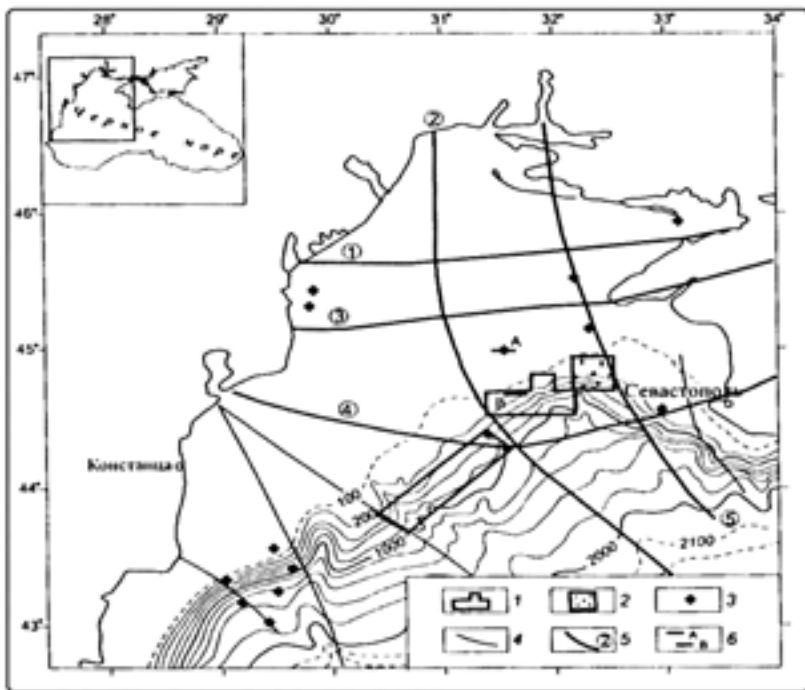


Рис. 5.10. Разломы и газовые струи западной части Черного моря □ [Шнюков и др.,2005]

1 – поля факелов; 2 – участок детальной съемки газовых факелов; 3 – группы факелов; 4 – разломы; 5 – зоны глубинных разломов; 6 – профили сейсмопрофилирования.

Полученная информация, по мнению авторов публикации [Шнюков и др., 2005], убедительно свидетельствует о приуроченности по-

лей газовыделений к региональным и тектонически активным разрывным нарушениям разного порядка. При этом крупные тектонические нарушения играют решающую роль в создании каналов миграции газово-флюидных потоков и формировании газовых струй. В работе также отмечается, что большинство газовыделений обнаружено в руслах палеорек и вершинах подводных каньонов палеорек. С подводными каньонами также пространственно совпадают около 110 струйных выделений газа на Тамано-Керченском шельфе.

Результаты исследований показывают, что картирование газовой выделений на шельфе и в прибрежной зоне реально осуществимая задача. В прибрежной зоне выходы газа отмечаются визуально при прохождении подводных маршрутов. На шельфе газовые факелы уверенно фиксируются при эхолотировании и непрерывном сейсмоакустическом профилировании. В условиях суши подобные работы затруднены, так как выходящий газ не виден, а локальные выходы трудно обнаружить точечными газохимическими замерами.

5.4. Изучение разгрузки спонтанных газов, грязевого вулканизма

Грязевой вулканизм достаточно широко распространенное в Мире геологическое явление. По определению Р. Р. Рахманова «грязевой вулканизм – совокупность процессов, обуславливающих подъем и выброс на поверхность по выводным каналам размягченных пластовыми водами глинистых масс, обломков твердых горных пород и преимущественно углеводородных газов, приводящих к образованию из продуктов извержения своеобразных геологических тел – грязевых вулканов» [Рахманов, 1987].

Величина разгрузки подземных вод, по сравнению с твердыми и газообразными выбросами, имеет подчиненное значение. В гидрогеологическом отношении вулканы примечательны тем, что представляют собой каналы – своеобразные окна, которые дренируют воды глубоких водоносных горизонтов. Наиболее длительные наблюдения за извержениями грязевых вулканов, (в том числе подводных), и их систематизация выполнены в Азербайджане (Каталог извержений грязевых вулканов Азербайджана за 1810–1984 гг., Баку, 1974).

Проявления подводного грязевого вулканизма давно известны в Каспийском и Азово-Черноморском бассейнах. Оба эти бассейна считаются классическими областями его развития. Достоверные количественные оценки разгрузки подземных вод из подводных грязе-

вых вулканов нам неизвестны. Некоторые представления могут дать лишь аналогии с наблюдениями и расчетами, проведенными на суше. Так в Азербайджане суммарный дебит 53 грязевых вулканов, находящихся в грифонно-сольной стадии, составляет $73 \text{ м}^3/\text{сут}$. Более значительное количество подземных вод выносятся во время извержений. Исходя из примерного суммарного объема твердых выбросов вулканов восточного Азербайджана за время их активной деятельности ($54,5\text{--}109 \text{ м}^3$ или $87,04 \cdot 10^9 \text{ т}$) и содержания воды в сопочной массе (28 %) можно подсчитать общий объем воды, вынесенный на поверхность вулканами этого региона в период пароксизмов. Он составляет $24 \cdot 10^9 \text{ т}$ или 24 км^3 [Рахманов, 1987]. Для Азово-Черноморского региона такие подсчеты не проводились.

Вулкан Голубицкий в Темрюкском заливе Азовского моря можно считать наиболее изученным подводным вулканом. Название вулкана происходит от станицы, расположенной на берегу залива. Первые упоминания о его извержениях относятся к 1799 и 1814 годам. Грязевулканические острова, возникающие в результате извержений, зафиксированы в 1880, 1906, 1924, 1950 и 1951 гг. Далее они появлялись в акватории Темрюкского залива почти ежегодно. В 1988–1989 годах были проведены комплексные исследования этого вулкана, после его извержения 28–29 августа 1988 и повторного в августе 1989 года. [Юровский и др., 1991]. В состав комплекса входили: геофизические исследования (непрерывное сейсмоакустическое профилирование – НСАП), бурение морских скважин, эхолотирование, геодезические работы, геохимическое опробование и подводные наблюдения. В публикациях разных авторов приведены данные по одновременному опробованию грязевулканических проявлений Керченско – Таманского региона (оз. Голубицкое, сопка Гнилая, Керчь, точка 1710, вулкан Насырский и Булганакское сопочное поле). Анализировался состав придонных и сопочных вод, выполнялся компонентный химический анализ газов и спектральный анализ сопочной брекчии. Минералогический состав и геохимические особенности грязевулканических выбросов вулкана Голубицкий, в том числе по керну морских скважин, приведены в работе [Кармазин, 2006].

Оценка объема твердых и жидких продуктов, выброшенных вулканом во время извержения, проводилась следующим образом. По предложению Н. Вальтера [Юровский и др., 1991], объем выброшенной в результате извержений сопочной брекчии определялся по формуле усеченного конуса. Несложный расчет показал, что ее объем составил 90200 м^3 . При объемном весе $1,78 \text{ т/м}^3$ общий вес

брекчии равняется 160 555 т. Грязевулканические образования обычно состоят из диапирового (криптодиапирового) поднятия, эруптивного аппарата и собственно грязевулканических выбросов. Используя ту же формулу усеченного конуса, можно подсчитать общий объем этого образования. Для вулкана Голубицкий он составляет 583 225 м³ или 1 038 140 тонн.

По аналогии с расчетами, приведенными в монографии Р. Р. Рахманова [Рахманов, 1987], оценим объем подземных вод, разгружающихся одновременно с сопочной брекчией, в период пароксизма. Для этого используем выражение:

$$W_c \gamma_c = W_B \gamma_B + W_b \gamma_b, \quad (5.11)$$

где: W_c , W_B , W_b – соответственно, объемы выброшенной сопочной брекчии, брекчии в смеси с водой и собственно подземных вод в объеме брекчии; γ_c , γ_B , γ_b – объемный вес этих составляющих.

Проведенные расчеты показывают, что за одно извержение вулкана Голубицкий в 1988 году в прибрежную зону поступило 40 тысяч кубических метров подземных вод.

Комплексные работы (геофизические (НСАП) и бурение морских скважин) позволили установить, что, в прошлом, извержения вулкана Голубицкий были значительно интенсивнее. Расположенные северо-западнее острова скважины 1 и 2 на расстоянии 257 и 135 м от него вскрыли слои сопочной брекчии мощностью более восьми метров (**рис. 5.11**).

Стратиграфический анализ, выполненный Н. Вальтером, позволяет выделить два периода активизации вулкана в четвертичном периоде. Первый относится к нижнечетвертичному времени, второй к караганскому (и до настоящего). Если предположить, что гидро- и литодинамика древнего мелководного бассейна в принципе не отличались от современного, то накопление таких объемов сопочной брекчии возможно объясняется выбросами, на порядки превышающими зафиксированные в 1988–1989 годах.

При изучении подводного грязевого вулканизма заслуживает внимания информация о газовыделениях на шельфе Черного моря. За последние 10–12 лет выявлено более тысячи проявлений газовыделений на глубинах от 50 до 2040 м. Высота подъема факелов в толще морской воды сильно варьирует пропорционально глубинам. Наиболее высокие факелы от 150 до 250 м и выше (аномальные до 700 м) расположены на более глубоких отметках дна. Факелы от 10 до 100 м располагаются на сравнительно небольших глуби-

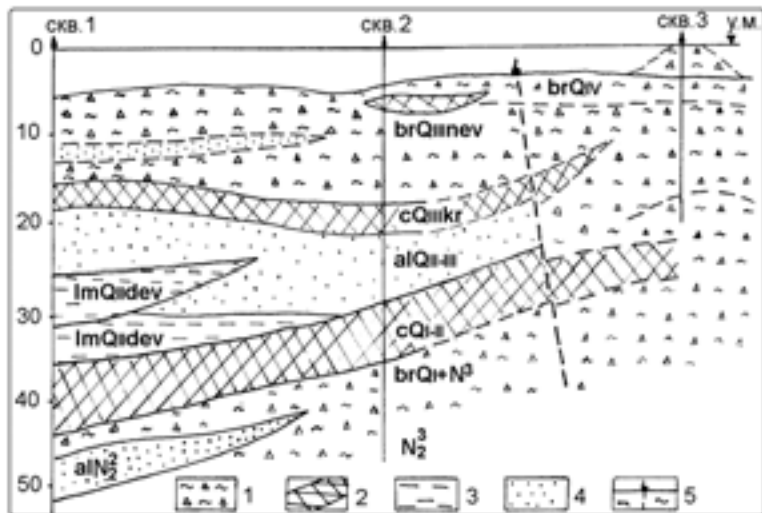


Рис. 5.11. Геологическое строение района грязевого вулкана Голубицкий [Юровский и др., 1991]

Условные обозначения: 1 – сопочная брекчия с обломками коренных пород; 2 – красно – бурые суглинки и глины; 3 – лиманно-морские отложения древне эвксинского возраста: глины, песчаные илы; 4 – пески древнего аллювия р. Кубань; 5 – линия разреза и номер скважины.

нах. Большая часть крупных газовых факелов локализуется на бровке шельфа и на участках погребенных палеодельт Палеодуная, Палеокаланчака, Палеодона, Палеокубани [Шнюков и др., 1999 а, Пасынков, 2006,]. В этих же работах отмечается, что в районе газовыделений установлено изменение параметров солености и сероводорода в придонном слое воды. Градиенты солености могут в два и более раз превышать фоновые, полученные на соседних участках. Градиенты сероводорода могут отличаться на порядок. Резкое увеличение солености в придонном слое, вероятнее всего, обусловлено разгрузкой высокоминерализованных подземных вод.

По геофизическим данным в переходной зоне от северо-западного шельфа к континентальному склону газовые струи четко связаны с диапировыми структурами, выраженными в рельефе чередующимися прогибами и сопками [Шнюков и др., 2005]. Сопки имеют симметричный профиль с основанием на глубине 250–280 м и высотой 40–70 м. Понижения в рельефе дна между сопками выражены синклиналиями структурами. Такое описание соответствует всем

признакам подводного грязевого вулканизма [Шнюков, 1999 б]. Наиболее крупные субмаринные грязевые вулканы находятся в субабиссали Черного моря на глубинах свыше 2000 м (Двуреченский, Севастопольский, Ялтинский).

Газовые факелы могут иметь разную природу. Так, другой тип газовыделений недавно изучался прямыми наблюдениями. Постоянно действующие выходы на дне Черного моря газа исследовались сотрудниками Института геологических наук АН Украины и базой спецфлота и подводных аппаратов «Гидронавт». Наблюдения осуществлялись с борта подводной лаборатории (ПЛБ) «Бентос – 300». Целью их было изучение особых структурных форм, названных «черноморскими курильщиками» (рис. 5.12) [Шнюков и др., 1990].

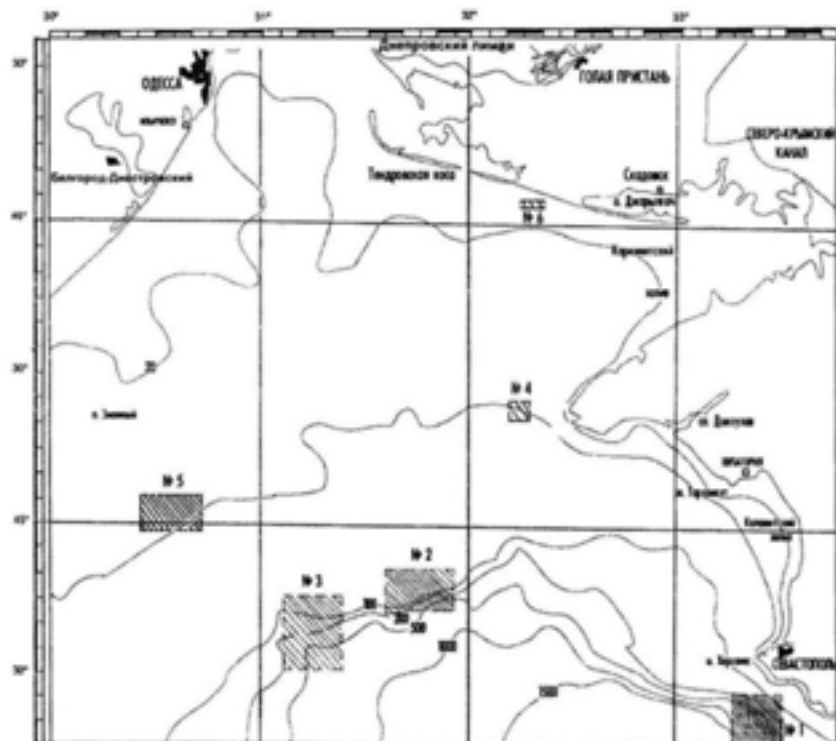


Рис. 5.12. Схема расположения газовыделений, обнаруженных при подводных работах подводной лаборатории «Бентос – 300» [Шнюков и др., 1990]

1 – гигантское Евпаторийское газовыделение; 2, 3 – поля, обследованные ПЛБ «Бентос – 300»; 4 – поля, обследованные ПОА «Поиск – 2»; 5 – район работ ПЛБ «Бентос – 300»; 6 – газовые грифоны косы Тендра.

Эти предварительные исследования показали, что подобные факелы довольно широко распространены в акватории на разных глубинах, вплоть до 1000–1300 м [Геворкьян и др., 1991]. Выход газа происходит среди корковидных покровов и пустотелых плитчатых форм, часто увенчанных древовидными, напоминающими кораллы, ветвящимися пустотелыми постройками. Ряд активных выходов оформлен в виде вертикально стоящих «труб» высотой до 1,5 м и диаметром около 20 см. Отобранные пробы газа изучались методом газовой хроматографии. Многократное повторение анализов показало, что в составе газов преобладает метан, иногда с незначительной примесью сероводорода (до 1,2 %). Опробование курильщиков показало, что газовая компонента является только частью флюидного потока. Основной же его состав представляет жидкая минерализованная фаза, насыщенная растворимыми соединениями [Геворкьян и др., 2005]. Послойный анализ химического состава структурных форм позволил установить, что они состоят из карбоната кальция (арагонита) с незначительной примесью аутогенного кремнезема и глинистого материала и др.

Большой научный интерес представляет изучение микроэлементного состава корковых покровов и собственно «курильщиков». Они имеют практически идентичный состав и насчитывают более 40 элементов–примесей, среди которых отмечены такие, как Be, Sn, Ni, Bi, Ag, Au, U, Tl, Ge, Hf, Li, Th, As, которые в осадочных лонных отложениях встречаются исключительно редко – обычно в осадках фиксируется незначительное содержание всего 10–12 элементов. Некоторые из них в карбонатном веществе корок и тел «курильщиков» обнаружены в значительных количествах: золото до 10 г/т, уран и торий до 50 г/т. По мнению авторов работы [Геворкьян и др., 2005], такой комплекс малых элементов однозначно свидетельствует о глубинном происхождении вещества минералообразователя корок и тел «курильщиков».

Интересно, что происхождение низкотемпературных, сравнительно малодобитных (по сравнению с черными и белыми курильщиками на океаническом дне) черноморских «курильщиков» авторы объясняют взаимодействием ряда геологических факторов, одним из которых является поступление продуктов разложения газогидратной залежи по разрывным нарушениям в водную толщу. Соответственно, образование известковистого обрамления газовых выходов можно объяснить нарушением карбонатного равновесия при смешении разгружающихся флюидов с морской водой. По нашему

мнению, достаточно тщательно проведенные исследования черноморских «курильщиков», тем не менее, нельзя назвать исчерпывающими. Не понятны причины разложения газогидратов – для этого необходимо резкое повышение температуры. Не проведено изучение структуры факелов курильщиков, что позволило бы оценить такой важный параметр, как дебит разгружающихся флюидов и др.

Анализ приведенных выше материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Выходы спонтанного газа на шельфе и континентальном склоне в Азово-Черноморском регионе имеют разную природу. Часть их тесно связана с разрывными тектоническими нарушениями. Газовые выходы на морском дне являются дополнительным критерием выделения разрывных нарушений и способствуют в поисках перспективных для освоения газовых структур.
2. Жидкие продукты грязевулканических выбросов представляют собой смесь генетически разных типов подземных вод, которая образуется по всей длине выводного канала (эруптивного аппарата), дренирующего разные водоносные горизонты.
3. Разовые грязевулканические выбросы в период пароксизма оказывают кратковременное влияние на гидрохимическую обстановку в прилегающей к вулкану акватории. В условиях активного волнового перемешивания это влияние практически совпадает с периодом извержения вулкана.
4. Подводные грязевые вулканы и черноморские «курильщики» следует картировать как водопункты, первые – эпизодического, а вторые – постоянного функционирования.

ГЛАВА 6. ВОДООБМЕН ПОДЗЕМНЫХ ВОД ШЕЛЬФА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ СУШИ

6.1. Общие положения

В настоящее время изучение водообмена между сушей и морем рассматривается, как самостоятельная научная задача. Ее можно представить в виде системы взаимодействия подземных и морских вод в различных по сложности геологических условиях. Или как одну из ветвей общего круговорота воды на Земле. В свою очередь понятие круговорота в земных оболочках – одно из краеугольных положений современной гидрогеологии. Подтверждая это положение, известный гидрогеолог Б. Личков писал: «... центральное значение для гидрогеологии должен получить всеми признанный, но также до конца не понятый, круговорот природных вод на планете» (Географический сборник, вып. 15, Астрогеология, 1962.–С. 26). Идея глобального круговорота подразумевает изучение всех его ветвей, определяющих эволюцию земного вещества и структуру гидросферы, и, как частный вопрос, роль водного стока в морские и океанические впадины. Согласно А. Н. Павлову [Павлов, 1977], подземный сток составляет один из циклов в структуре климатического круговорота воды. Наряду с атмосферным циклом и циклом речного стока, автором выделяется литогенетический круговорот, состоящий из гидрогеологического и собственно геологического циклов. В каждом цикле в свою очередь могут выделяться отдельные фазы или этапы. Например, в гидрогеологическом цикле выделяются два этапа: элизионный и инфильтрационный [Павлов, 1977].

Практическое изучение круговорота воды и, в том числе, цикла подземного стока, безусловно, важная фундаментальная научная и научно-познавательная проблема. Одновременно она является теоретической основой решения многих практических задач. Цикл подземного стока (непосредственная разгрузка подземных вод в морские и океанические впадины) в настоящее время ещё недостаточ-

но изучен, как и динамика подземных вод на шельфе. Однако, в отношении динамики подземных вод на шельфе, вероятно правильнее говорить о водообмене подземных и морских вод между сушей и морем, учитывая и обратный стоку процесс – внедрение морских вод в сторону суши. Рассмотрим этот тип задач гидрогеологического изучения шельфа более подробно.

6.2. Изучение подземного водообмена между сушей и морем

Первые научные работы, посвященные водообмену пресных и морских вод, появились во второй половине XIX века. Далее изучение процессов водообмена между сушей и морем стимулировалось необходимостью решения чисто практических задач. К ним относятся масштабное, например, вторжение морских вод в районе г. Майами в 1910–1925 гг. (штат Флорида), интрузия морских вод в водоносные горизонты о. Лонг-Айленд в начале пятидесятых годов (штат Нью-Йорк) и ряд других. Выход из строя водозаборов заставил искать действенные меры борьбы с интрузиями. Первые же теоретические разработки появились несколько раньше. Впервые гидростатическое равновесие контактирующих пресных вод суши и морских вдоль границы раздела описал Гибен (Badon Chyben W., 1888–1889). Много позже его идеи были развиты Герцбергом [Herzberg A., 1960], в результате чего был сформулирован принцип Гибена – Герцберга о возможной глубине раздела между пресными и солеными водами. Очевидные недостатки теоретических положений Гибена – Герцберга заключаются в постулате статического равновесия между жидкостями. Вариант расчета гидродинамического равновесия впервые предложил Губберт [Hubbert M. K., 1940]. Начиная с конца сороковых годов XX века, появляется целый ряд зарубежных и отечественных работ, посвященных как интрузиям, так и разгрузке подземных вод в моря. К наиболее значимым из них можно отнести работы Купера [Cooper H. H., 1959], Гловера [Glover V. E., 1959], Шайдеггера [Scheidegger A. E., 1954], Гирина Н. (1948–1955), Полубариновой – Кочиной (1952), В. Гольдберга (1966) и других, а также более поздние работы Ф. Бочевера, Н. Веригина, В. Шестопалова, рассматривающие граничные условия между пресными и солеными водами в пласте. Большинство из них основано на решении различного вида дифференциальных уравнений, решаемых с теми или иными допущениями, построением гидродинамических сеток (модель Гловера) и др.

Изучению подземного водообмена между сушей и морем в 70–80 годах XX века посвящено достаточно большое количество публикаций, в том числе монографических. В одной из работ [Джамалов и др., 1977] предлагается рассматривать поступление подземных вод в моря и Мировой океан тремя принципиально разными путями:

1. В виде ювенильных вод, образующихся в результате процессов дегазации мантийного вещества.
2. С речным стоком, как подземную составляющую расхода рек.
3. В виде подземного стока, формирующегося на суше и разгружающегося в море, минуя речную сеть.

Само существование ювенильных вод, а также вопрос о поступлении их в Мировой Океан, в нашем понимании, носит исключительно академический характер. В контексте практических задач гидрогеологического изучения и картирования шельфа рассмотрение его нецелесообразно.

Второй путь поступления подземных вод в моря и океаны с речным стоком изучен достаточно хорошо. Этому способствовала удачная методика, предложенная Б. И. Куделиным, основанная на расчленении гидрографов речного стока [Куделин, 1960]. На основе этой методики было выполнено картирование подземного стока всей территории СССР, центральной и восточной Европы. Отдавая должное качеству и масштабам проведенных исследований, отметим одно важное обстоятельство. Вполне очевидно, что помимо поверхностного (речного стока) в моря и Мировой океан одновременно осуществляется разгрузка подруслового (аллювиального) стока. Здесь имеется в виду та часть аллювиального стока, которая поступает в русло ниже замыкающего гидрологического створа (водомерного поста). В Черное море разгрузка, в том числе этой неучтенной части стока, происходит, главным образом, в конусах выноса переуглубленных речных долин. В количественном отношении такой вид аллювиального стока практически не изучен за исключением ряда небольших рек Кавказа и Крыма [Юровский, 1996]. На Кавказе к относительно изученным относятся конуса выноса рек северной части региона, разгрузка в которых типизирована по геолого-гидрогеологическим условиям А. Островским и Н. Зайцевым [Островский и др., 1984]. Прямые измерения субмаринной разгрузки проводились в конусе выноса р. Псезуапсе, а в Крыму – в конусах выноса рек юго-восточной части полуострова [Юровский, 1983, 1996].

К наименее изученным путям можно отнести и разгрузку подземных вод по палеоруслам на шельфе Черного и Азовского морей. Впервые сам факт существования палеорусел предположил Н. Андрусов (1926). Затем сеть палеорусел изучалась целым рядом исследователей: П. Гожиком, Е. Шнюковым, Н. Масляковым и др. [Гожик, 1984, Масляков, 1999, Шнюков и др., 1999 а]. В частности, конфигурация палеодолин и русел на северо-западном шельфе Черного моря приведена в работе [Гожик, 1984]. О палеоруслах в западной части Азовского моря и Керченского полуострова имеются сведения в работе [Масляков, 1999].

Образование палеорусел и переуглубленных долин объясняется уникальной историей развития Азово-Черноморского бассейна. В позднем плейстоцене – голоцене уровень Черного моря испытал ряд крупных регрессий и трансгрессий. Максимальная амплитуда изменения уровней оценивается по-разному: 80–90 м, 100–120 м, иногда до 130 м. Для периода вюрмской регрессии (17–18 тысяч лет назад) положение уровня соответствовало отметкам коренного ложа пролива Босфор и составляло –100 м [Стратен, 1969, Бадюков, 1979, Горячкин и др., 2006,, и др.]. В любом случае при трансгрессиях осушались огромные участки шельфа (в частности весь северо-западный и часть Керченского), а Азовское море целиком представляло собой сушу. На **рисунке 6.1** показаны русла крупных палеорек, причем многие из них сливались (Днестр, Днепр, Каланчак и др.), образуя обширные дельты.

Катастрофическая трансгрессия, случившаяся при прорыве морских вод через Босфор 7–8 тысяч лет назад, практически мгновенно затопила эти русла вместе с долинами и водораздельными пространствами, перекрыв их терригенными осадками различного литологического состава.

Сток подземных вод существует также в бассейне Азовского моря в палеоруслах как крупных рек (Дон и Кубань), так и мелких, таких как Берда, Молочная, Лозоватка и др. Скважина, пробуренная с НИС «Геохимик» к северу от Булганакской бухты Керченского полуострова, дала самоизлив пресной воды [Масляков, 1999].

В самом общем виде масштабы современной субмаринной разгрузки подруслового стока можно представить следующим образом. Величина подруслового стока, по мнению Л. И. Львовича, составляет 25–30 % от поверхностного (речного). Для северо-западной части Черного моря сток крупных рек (без Дуная) оценивается в 70 км³/год, а для Крыма в 3 км³/год. Соответственно, объем сред-

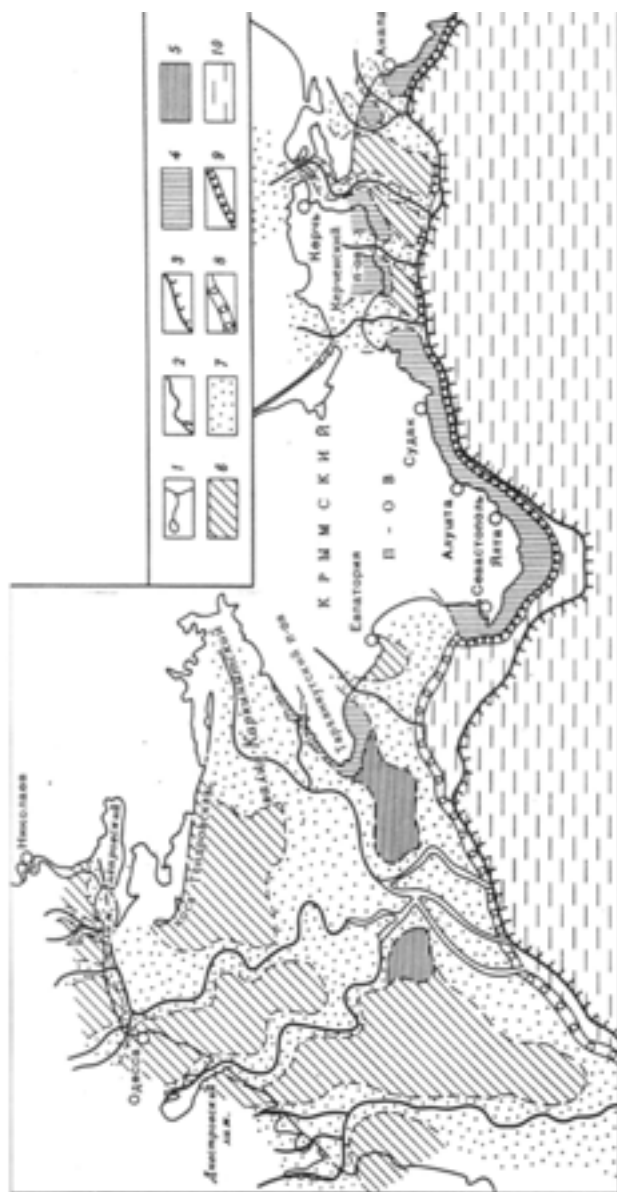


Рис. 6.1. Литолого-палеогеографическая схема северной части Черного моря в позднем плейстоцене (время максимальной регрессии) по [Щербаков, 1983].

Условные обозначения: 1 – современный берег; 2 – палеоберег; 3 – бровка шельфа; 4 – доплистоценовые породы; 5 – глины предположительно плистоценового возраста; 6 – лессы плейстоцена; 7 – аллювий позднего плейстоцена; 8 – прибрежные песчано-ракушечные отложения; 9 – береговая линия позднего плейстоцена; 10 – позднеплейстоценовые глинистые илы континентального склона и глубоководной впадины.

немногочисленного подруслового стока должен выражаться цифрами 17–18 км³/год. С учетом засушливого климата Причерноморья Украины приведенные цифры должны вызывать практический интерес.

При комплексном изучении шельфа и его гидрогеологическом картировании, очевидно, предстоит дать ответ на ряд вопросов (подразумевается, что для этого потребуются проведение дополнительных специальных исследований). Ответ на них позволит судить о перспективах использования пресных подземных вод на шельфе как нетрадиционного источника водоснабжения. Соответственно следует:

- более детально установить положение палеорусел на шельфе;
- определить, какие из них сохранились целиком, а какие фрагментарно;
- оценить состав палеоаллювиальных отложений, их мощность и фильтрационные свойства; одновременно выяснить те же параметры для перекрывающих отложений;
- дать оценку параметров фильтрационного потока пресных аллювиальных вод, запасов и ресурсов, в том числе эксплуатационных;
- определить качество подземных вод, а также возможность использования их в хозяйственных целях.

В современной морской гидрогеологии одной из важнейших задач является оценка величины разгрузки подземных вод в моря непосредственно с суши, минуя речную сеть. Как уже отмечалось, морские и океанические впадины представляют собой самые глубокие дрены на Земле. Они же являются конечным пунктом движения подземного стока, в том числе зоны интенсивного водообмена. Несмотря на глобальную распространенность такого рода разгрузки, она является самым слабо изученным элементом в водном балансе приморских территорий. Одна из причин такого положения заключается в невозможности непосредственного визуального наблюдения самого элемента, т. е. рассредоточенной разгрузки.

Накопленные к настоящему времени данные о динамике грунтовых и артезианских вод на приморских территориях показывают, что подземный сток всех водоносных систем направлен, как правило, в сторону моря. При этом механизм субмаринной разгрузки может выражаться всего двумя видами:

1. Разгрузка сосредоточенная, в виде субмаринных источников, приуроченная чаще всего к водоносным горизонтам трещинно-жилых и трещинно-карстовых вод.

2. Разгрузка рассредоточенная, осуществляющаяся перетеканием через перекрывающие горизонты порово-пластовых вод современные морские отложения.

Оба вида разгрузки могут проявляться как самостоятельно, так и в сочетании друг с другом. Комбинированные виды субмаринной разгрузки наблюдаются в конусах выноса рек, в зонах разрывных тектонических нарушений и некоторых других случаях.

Вполне очевидно, что в постановке задач по современному исследованию динамики подземных вод на шельфе и прилегающих территориях суши необходимо учитывать реальную гидрогеологическую обстановку на суше. Здесь под реальной гидрогеологической обстановкой понимаются масштабы техногенного влияния на подземные воды. То есть, все задачи изучения следует разделить на два класса: – исследование динамики подземных вод в ненарушенных условиях; – исследование динамики подземных вод в нарушенных условиях.

К основным причинам нарушения естественных условий питания и разгрузки относятся: строительство гидротехнических сооружений, мелиоративные работы и водоотбор подземных вод скважинами (водозаборы различных конструкций и назначения). Все указанные причины широко распространены на прилегающих к Азово-Черноморскому бассейну территориях. Большинство крупных рек, впадающих в бассейн, зарегулированы: Дунай, Днепр, Дон, Кубань, а также более мелкие. В северном Крыму и Херсонской области созданы разветвленные оросительные системы и функционирует Северо-Крымский канал. Во всех приморских районах Украины действуют многочленные крупные и мелкие скважные водозаборы, имеющие обширные воронки депрессии. В настоящее время участки побережья с ненарушенным режимом подземных вод являются скорее исключением, чем правилом. При изучении водообмена в таких условиях нельзя ни обратить внимание на интрузии морских вод в сторону суши.

6.3. Интрузии морских вод в сторону суши

Проникновение морских вод в сторону суши (интрузии) представляют собой противоположный по знаку процесс субмаринной разгрузки, широко распространенный в системе водообмена суша – море. Его обуславливают как искусственные, так и естественные причины. Масштабы проявления естественных интрузий зависят от ряда факторов, включающих [Юровский, 2006]:

1. Геологические, тектонические и геолого-структурные особенности прибрежной зоны и шельфа. К ним относятся: литология пород, слагающих зону активного водообмена, степень и характер их дислоцированности, темпы современного осадконакопления, особенно в областях лавинной седиментации.
2. Геоморфологические, включая изрезанность береговой линии, морфологию субазральной и субаквальной частей прибрежной зоны, наличие русел рек, гидротехнических сооружений (дамб, каналов, дренажных и оросительных систем).
3. Гидрогеологические – фильтрационные свойства коллекторов и водоупоров, пьезометрические уровни и уклоны, расход подземных потоков.
4. Синоптические – интенсивность и повторяемость штормов, сопровождающихся сгонно-нагонными явлениями, величиной барических образований, образующих сейши и некоторые другие явления, вызывающие денивеляции уровня моря.

К перечисленным выше факторам можно добавить космические – величина приливо-отливных явлений.

Самой распространенной причиной возникновения естественных интрузий в Азово-Черноморском бассейне являются штормовые нагоны, часто сопровождаемые крупными сейшми. Катастрофические подъемы уровня моря достигают одного и даже полутора метров. При этом затапливаются низменные участки побережий, территории портов, причальные сооружения, приморские населенные пункты, происходит засоление грунтовых вод [Демидов и др., 1999]. На побережье Кавказа в районе Сочи, в трехбалльный шторм вода в грунтовых колодцах становится солоноватой, а в пятибалльный шторм – соленой и непригодной для питья. Аналогичные явления при штормовых нагонах происходят в Черноморском и части Раздольненского районов Крыма.

Естественными интрузиями отдельного вида можно считать фильтрацию морских вод к отрицательным формам рельефа, с гипсометрическими отметками ниже ординара. Таковыми являются ряд котловин, озерных впадин и лиманы, отшнурованные пересыпями от моря. В качестве примера можно привести котловину Чокракского озера (Керченский полуостров), расположенную ниже уровня Азовского моря. Фильтрация морских вод через пересыпь происходит постоянно и оценивается в $303,5 \text{ м}^3/\text{сут}$. При штормовых нагонах она достигает величины $535,9 \text{ м}^3/\text{сут}$ [Юровский, 2006]. Проникновение морских вод в котловину озера характеризуют гидро-

изогипсы в районе пересыпи, а в области смешения озерной рапы и морских вод отрицательные значения Eh (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Естественная интрузия морских вод в котловину оз. Чокрак

Условные обозначения: 1 – скважина. Цифры: слева – номер выработки, справа – отметка уровня подземных вод (см); 2 – шурф; 3 – точки с отрицательными значениями Eh ; 4 – линия берега; 5 – гидроизогипсы (см); 6 – граница области отрицательных значений Eh ; 7 – контур грязевого поля; 8 – рабочий профиль и его номер.

Фильтрационное поле пересыпи, как видно из рисунка, неоднородно. На профиле VIII образуется язык внедрения морских вод. Уклоны поверхности подземных вод неодинаковы. Внедрение соленых вод в сторону суши, как правило, сопровождается негативными явлениями: нарушением водоснабжения приморских коммунальных и промышленных объектов, засолением водоносных горизонтов пресных подземных вод и зоны аэрации, выходом из строя водозаборов. Проявление интрузий на украинском побережье имеет региональный характер, затрагивающий многие участки и населенные пункты.

При нарушении естественного режима подземных вод негативные последствия интрузий многократно усиливаются. Основными причинами нарушения естественного режим являются: мелиорация приморских территорий, эксплуатация месторождений полезных ископаемых, интенсивный отбор подземных вод для хозяйственных нужд, создание польдеров.

Классическим примером крупномасштабного внедрения морских вод, стимулированного проведением осушительных работ, является район г. Майами на полуострове Флорида. В 20-х годах прошлого века фронт соленых вод внедрился на 18 км вглубь полуострова. При этом многие водозаборные скважины г. Майами пришли в полную негодность вследствие резкого повышения минерализа-

ции воды. Изучение этой проблемы показало, что засоление грунтовых вод было вызвано как непосредственным внедрением морских вод в водоносный горизонт за счет сработки уровней, так и инфильтрацией морских вод, проникших в реки и каналы. Было отмечено – дальность проникновения морских вод через реки и каналы вглубь суши в 5–8 раз превышает их продвижение непосредственно по водоносному горизонту [Зекцер и др., 1984].

Искусственному понижению уровня подземных вод может способствовать и добыча твердых полезных ископаемых. На черноморском побережье таковыми чаще всего являются карьеры по добыче стройматериалов. Добыча флюсовых известняков в районе г. Балаклавы привела к образованию карьера глубиной в 220 м. Он, расположен в 600 м от моря, достиг нулевой отметки, причем дальнейшее углубление может вызвать интрузию морских вод.

Еще одним негативным фактором, наблюдающимся во многих районах Земного шара, является засоление водоносных горизонтов, связанное с интенсивным водоотбором подземных вод. Фактически интрузиям подвержены практически все освоенные человеком участки морских побережий: в США (Тихоокеанское и Атлантическое побережья), в Канаде (Атлантическое побережье), в Северной Африке (Алжир, Тунис, Марокко), в Европе (Франция, Германия, Польша, Нидерланды, Испания и другие страны), в Австралии, Японии и на значительных участках побережий Азии. Смещение границы раздела пресных и морских вод действующего водозабора показано на **рис. 6.3**. В таких условиях водозаборные сооружения выходят из строя и не могут далее эксплуатироваться.

Процесс возникновения интрузий морских вод достаточно хорошо изучен как в естественных, так и в нарушенных условиях. В естественных условиях интрузия морских вод развивается в виде клина (языка), вытянутого по подошве водоносного пласта под влиянием различия плотности морских и пресных вод. Схематическое изображение такого клина показано на **рис. 6.4**.

Для оценки линейных размеров интрузии (длины клина) L м, в условиях;

гидродинамического равновесия) используется приближенное выражение, предложенное В. М. Гольдбергом [Гольдберг, 1966]:

$$L = (\gamma_0 - 1) hT/q \quad (6.1)$$

где $\gamma_0 = \gamma_c / \gamma_n$ – соотношение плотностей соленой и пресной воды, h – мощность водоносного горизонта, м; $T = K_n$ – водопроводимость

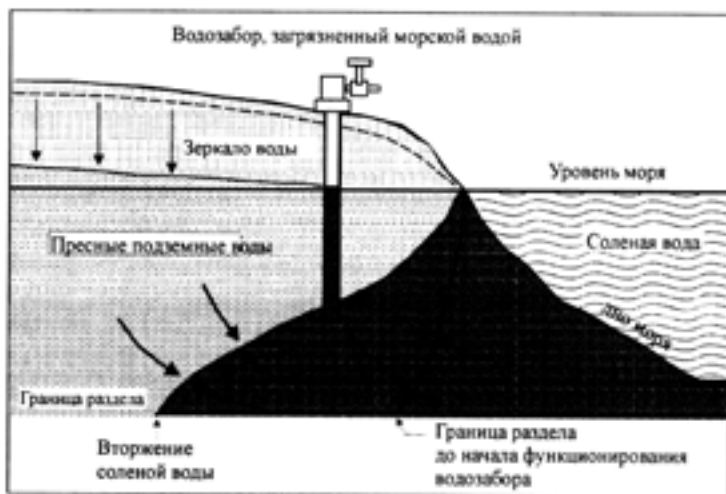


Рис. 6.3. Положение границы пресные – морские воды в действующем прибрежно-морском водозаборе (схема).

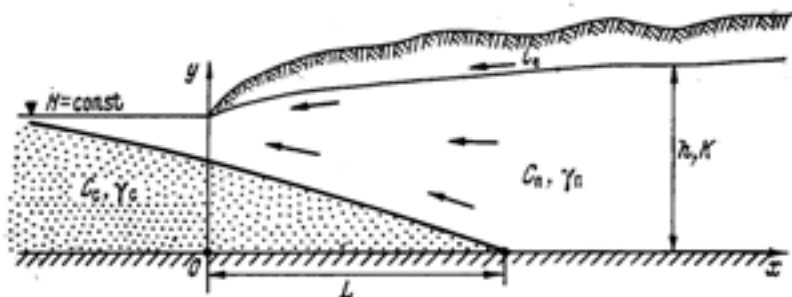


Рис. 6.4. Схема формирования клина морских вод в пресноводном водоносном горизонте в прибрежной зоне [Зекцер и др., 1984]

C_c, r_c – минерализация и плотность вторгшихся в пласт морских вод; C_p, r_p – минерализация и плотность пресных подземных вод; h, K – мощность и коэффициент фильтрации водоносного пласта; i_0 – градиент (уклон) разгружающегося в море потока грунтовых вод.

водоносного горизонта $m^2/сут$; $q = K h i_c$ – удельный расход потока грунтовых вод на единицу длины береговой линии, $m^2/сут$; K – коэффициент фильтрации водовмещающих пород $m/сут$; i_c – градиент потока подземных вод в естественных условиях.

Выражение (6.1) однозначно свидетельствует о том, что длина клина интрузии соленых вод тем больше, чем больше соленость морских вод, мощность водоносного горизонта и чем меньше расход пресных вод в горизонте. Соответственно, при уменьшении расхода подземных вод, вызванных естественными или искусственными (например, водоотбор из скважин) причинами, длина клина увеличивается.

Жесткие границы и схематизация интрузий в виде клина или языка являются чисто теоретическим допущением очень удобным для расчетных построений. В действительности четкой границы раздела между пресной и морской водой не существует. Вместо границы наблюдается диффузионная переходная зона, аналогичная зоне дисперсии при субмаринной разгрузке пресных вод. Существование такой зоны убедительно доказано в работах [Orabona, 1957, Matsubara, 1958,]. Динамику границы пресных с соленых вод в естественных условиях с учетом диффузионных процессов одним из первых рассмотрел с помощью дифференциальных уравнений С. Матсубара [Matsubara, 1958]. В натуральных условиях мощность переходной зоны зависит от проницаемости водовмещающих пород, величины инфильтрационного питания пресных вод и некоторых других факторов. Наряду с этим, довольно часто встречается переслаивание горизонтов воды с различной плотностью (минерализацией). Переслаивание может носить характер прорыва переходной зоны (инъективный эффект), что связывается как с преодолением потенциалов неустановившегося потока, так и с неоднородностью водовмещающей среды [Павлов, 1977].

В гидродинамике для обеспечения нормального функционирования водозаборов подземных вод, расположенных вблизи морских побережий, существуют различные расчетные зависимости [Гольдберг, 1966, 1982.]. В большинстве из них граница раздела пресных и подземных вод представляется как жесткая, без переходной зоны. Тогда, в общем виде задача сводится к определению положения водораздельной точки (А) в зависимости от проектной производительности водозабора и гидрогеологических параметров пласта: его мощности, коэффициента фильтрации, скорости движения потока, расхода потока, градиента естественного потока, коэффициента пьезопроводности (рис. 6.5).

В ряде областей Украины выявлены внедрения в сторону суши соленых вод, обусловленные искусственными факторами. Причины и характер этого явления рассматриваются в серии опубликованных работ, в том числе, монографий «Подземные воды карсто-

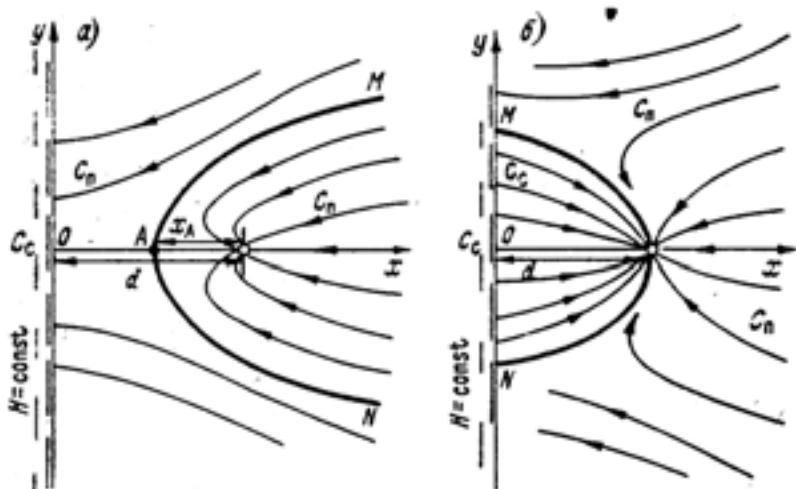


Рис. 6.5. Схема подтягивания морских вод к одиночной скважине водозабора [Зекцер и др., 1984.]

а – подтягивание морских вод не происходит; б – морские воды поступают к скважине; x, y – оси координат; d – расстояние от скважины до уреза; MN – граница воронки депрессии; C_n и C_c – минерализация пресных и соленых вод.

вых платформенных областей юга Украины» [Подземные..., 1981]. Пресные подземные воды замещаются морскими по всему западному побережью Крыма, а также в районе городов Одесса, Херсон, Геническ и в приустьевых частях Южного Буга и Днестра. Например, в Крыму интрузии наблюдаются в западной части Альминского артезианского бассейна, имеющего гидравлическую связь с морем. Участки внедрения морских вод в сарматский водоносный горизонт выделяются в районе оз. Кизил Яр, пгт. Николаевка, в зоне работы Орловского водозабора и отчасти Виленского, где сформировались большие депрессионные воронки. В целом, общая сработка уровней сарматского водоносного горизонта оценивается в 1–20 м. Еще более значительное влияние водоотбора на уровни подземных вод отмечено для понт-мэотис-сарматского водоносного горизонта в районе водозаборов Сакского, Чеботарка – Ивановка. Постоянно возрастающая потребность в пресной воде в связи с интенсивным освоением побережий зачастую вынуждает нарушать регламент эксплуатации прибрежных водозаборов. В результате, депрессионные воронки ряда из них достигли морского уре-

за и продолжают увеличиваться. Аналогичная картина наблюдается в районе Геническа, Днепровского и Бугского лиманов и на побережье Одесской области.

В настоящее время перспективное планирование эксплуатации продуктивных горизонтов и их охрана от истощения и засоления наиболее рационально решаются с помощью математического моделирования. Такой подход был использован для изучения формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод северо-восточной части Причерноморского артезианского бассейна [Шестопапов и др., 2007]. Несмотря на то, что изучение процессов водообмена между сушей и морем имеет почти столетнюю историю, ряд вопросов все еще остается дискуссионным. Наряду с определенными достижениями в теории, на практике часто используются эмпирические и полуэмпирические решения. В наибольшей степени это касается региональных исследований, в том числе оценки естественных ресурсов подземных вод, и роли подземных вод в формировании водно-солевого баланса внутренних морей.

6.4. Особенности оценки естественных ресурсов пресных подземных вод на приморских территориях

В науке о подземных водах долгое время понятие «ресурсы» являлось дискуссионным. Выделение ресурсов в качестве самостоятельного показателя имеет смысл в балансовых построениях, широко используемых в практике водохозяйственных расчетов. По определению, данному Ф. Саваренским, под естественными ресурсами понимаются все приходные составляющие уравнения водного баланса, то есть величина питания в естественных условиях любой водоносной системы, выраженная в единицах расхода ($\text{м}^3/\text{сут}$). Естественные ресурсы могут быть определены и по расходной части того же уравнения, как величина разгрузки подземных вод минус потери (испарение, транспирация растительностью, перетекание в смежные водоносные системы и т. п.).

Из приведенного выше определения напрашивается вывод: в оптимальном варианте хозяйственного использования подземных вод следует ограничиваться постоянно возобновляемыми естественными ресурсами, с привлечением в разумных пределах запасов в случае необходимости. Интенсивное использование последних может привести к их истощению ввиду ограниченного объема гравитационных вод – эксплуатационных запасов. Поэтому, точная количе-

ственная оценка естественных ресурсов является важной составляющей гидрогеологических исследований.

В научной литературе естественные ресурсы подземных вод часто выражаются в параметрах подземного стока. При этом различают неглубокий (грунтовый) и глубокий (артезианский) виды подземного стока. Первый из названных видов повсеместно формируется выше местного базиса эрозии. Основными дренами, куда попадает неглубокий подземный сток, являются реки, озера и другие водоемы, отрицательные формы рельефа естественного и искусственного происхождения. Наиболее удачным и широко используемым способом количественной оценки неглубокого стока, как уже отмечалось ранее, можно считать метод Б. И. Куделина (1960). Метод основан на расчленении гидрографов речного стока и прямо связан с гидрографической сетью и стационарными гидрометрическими наблюдениями за речным стоком. В 1973 году с использованием этого метода была составлена карта подземного стока территории СССР, в том числе Украины. Все изложенное выше достаточно хорошо известно специалистам гидрогеологам. Менее известны проблемы оценки подземного стока на приморских территориях.

Площади водосборов приморских территорий представляют собой особые для подземного стока области, где метод Б. Куделина фактически «не работает». Речные стационарные гидрологические станции и посты из-за влияния переменного подпора располагаются в десятках, иногда до сотни километров от устья. Кроме того, речные долины и русла в приморских условиях юга Украины (пологий рельеф, отсутствие боковых притоков и др.) дренируют лишь небольшую часть подземного стока. Большая его часть, особенно в междуречьях и слабо выраженных водоразделах, дренируется морскими впадинами. Морские и океанические впадины являются самыми глубокими дренами на земле, одновременно представляя собой глобальную область разгрузки как неглубокого, так и глубокого (артезианского) подземного стока.

Естественные ресурсы обычно определяются суммой атмосферных осадков минус испарение. В практике гидрогеологических работ оценка естественных ресурсов по величине субмаринной разгрузки подземных вод выполнялась только научно-исследовательскими организациями. Одна из таких работ была посвящена взаимодействию подземных и морских вод Крымского побережья, основные выводы по которой опубликованы в журнале «Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности» [Юровский

и др., 2002]. Оценка величины разгрузки грунтовых вод (неглубокий сток) проводилась по уравнению Дарси. Расчеты величины субмаринной разгрузки подземных вод более глубоких горизонтов, которая осуществляется перетеканием, выполнена по методу Р. Джамалова. Средние многолетние значения уровней (напоров) по выбранным профилям аппроксимировались отдельно для паводка и межени уравнениями вида $y = \exp(ah) \cdot b$, где a и b – численные коэффициенты. Экспоненциальные кривые пьезометрических напоров экстраполировались в пределы акватории Черного моря до заданной глубины. На Тарханкутском полуострове единичные значения расхода подземного потока (на 1 м ширины потока) для сарматского горизонта нижнего неогена изменялись в пределах 0,07–1,2 м³/сут. На приморских территориях Каламитского залива в понт–мэотис-сарматском водоносном комплексе в пределах 0,1–2,0 м³/сут. Расчет ширины зоны субмаринной разгрузки проводился по модели Гловера. В качестве сравнительной оценки положения границы раздела пресных и соленых подземных вод использовалась модель Гибена – Герцберга.

Оценка величины активной субмаринной разгрузки (субмаринные источники) проводилась по методу автора. Изменчивость меженных дебитов источников у м. Айя за шесть лет наблюдений лежит в пределах 4,5–10 тыс. м³/сут. Опыт прямых измерений дебита субмаринных источников пока невелик. Операции эти достаточно трудоемки и дорогостоящи. Поэтому, разовые измерения в строгом понимании режимными назвать нельзя. Однако, они дают реальное представление о потенциальных ресурсах пресных вод и могут быть использованы в практических целях (каптаж источников).

В отличие от юго-западного, Южный берег Крымского полуострова от м. Айя до г. Феодосия имеет свои особенности геологического строения. Здесь почти повсеместно развиты флишевые отложения средней, верхней юры и ранней юры-триаса (таврическая серия), являющиеся региональным водоупором. Матрикс Южнобережного и Подгорного меланжей также состоит, в основном, из флишевых пород. Этот участок побережья практически лишен субмаринного стока подземных вод. Незначительное количество воды содержится в крупных олистолитах южнобережного меланжа и в оползневых отложениях. Благодаря им функционируют субмаринные источники трещинных вод магматического массива Аю-Дага и малодебитный источник в бухте Ласпи. Питание подземных вод происходит за счет атмосферных осадков, конденсации водяных паров

и транзита карстовых вод от Яйлы к морю по делювиальным и другим рыхлым отложениям. Естественные ресурсы представлены субэаральным родниковым стоком, часть которого используется для водоснабжения. Дебит субмаринных источников (бухта Батилиман, гора Аю-Даг, пос. Новый Свет) не определялся. Аналогичная ситуация наблюдается и на Керченском полуострове, где верхняя часть разреза в большей части представлена водоупорными отложениями неогена (майкопская свита). Некоторые поселки северного побережья, например п. Мысовое, используют воду маломощных карбонатных отложений сарматского возраста, вскрытых колодцами. Другие получают воду из Северо-Крымского канала. На южном побережье Керченского полуострова из-за отсутствия пресной воды населенных пунктов вообще нет [Юровский, 1995 б]. Здесь известен единственный субэаральный пресноводный источник у горы Опук (довольно крупный изолированный известняковый риф сарматского возраста), в античные времена снабжавший пресной водой небольшой греческий город Киммерик. В настоящее время эта территория имеет статус заповедника.

На этом особенности субмаринной разгрузки не исчерпываются. Отдельного рассмотрения заслуживают проблемы оценки разгрузки в конусах выноса рек. В механизме ее преобладают процессы перетекания. Существенную роль в верхней части конусов выноса играет активный вид разгрузки в виде многочисленных малодобитных источников. Такие характерные выходы наблюдаются в устьях горных рек Кавказского побережья (реки Псоу, Бзыбь). Подрусловой (аллювиальный) сток крупных рек, таких как Дунай, Нил, Миссисипи составляет сотни тысяч кубометров в сутки. Например, в дельте Нила, только на одном 40-км участке у Каира расход аллювиального потока выражается в 30 тыс. м³/с. Дефицит пресной воды в засушливых районах заставляет обращать внимание и на разгрузку аллювиальных вод малых рек. В юго-восточном Крыму имеется до десятка малых рек, иногда пересыхающих в межень, которые тем не менее, могут служить дополнительным источником водоснабжения. Подрусловой сток даже в эти периоды колеблется на разных реках в пределах от 300 до 2500 и более м³/сут (реки Ворон, Шелен, Ускут др.). Субмаринная разгрузка в конусах выноса этих рек оценивалась прямыми методами и сопоставлялась с данными по береговым скважинам. Для небольших поселков приведенные выше значения расходов воды вполне значимы.

6.5. Роль подземных вод в водно-солевом балансе Черного и Азовского морей

Изучение водно-солевого баланса внутренних морей представляют собой, в большей мере, академическую проблему. Повышенный интерес к ней возник в связи с резкой регрессией уровня Каспийского моря в середине XX века. Для условий полностью изолированного от Мирового океана водоема это было вполне оправдано. Тем более, что появился совершенно авантюрный проект поворота северных рек на юг.

В действительности роль подземных вод в водно-солевом балансе для большинства внутренних морей имеет подчиненное значение и существенно меньше в количественном выражении стока рек и водообмена через проливы. Напомним параметры Черноморского бассейна: объем воды составляет $547\,015\text{ км}^3$, площадь водной поверхности $413\,488\text{ км}^2$, максимальная глубина $2\,212\text{ м}$, средняя глубина $1\,301\text{ м}$. Общая протяженность береговой линии около 3991 км при коэффициенте изрезанности $1,8$.

В отличие от Средиземного, воды Черного моря сильно распреснены стоком крупнейших европейских рек. Средняя соленость на поверхности колеблется в пределах $18\text{--}19\text{ ‰}$ и незначительно растет с глубиной. В придонных глубоководных слоях центральной части впадины она достигает максимальных значений $22,2\text{--}22,3\text{ ‰}$. Объем речного стока оценивается в интервале: $352,7\text{ км}^3$ [Митропольский и др., 1982] – 336 км^3 [Горячкин и др., 2006]. Последняя цифра представляется более обоснованной, поскольку среднемноголетний речной сток вычислялся за более длительный период (с 1923 по 1988 г). Как уже отмечалось, подрусловой сток по Л. И. Львовичу оценивается в $25\text{--}30\%$ от объема речного. Близкое значение к этим величинам определено для подземного стока Средиземного моря – 24% [Зекцер и др., 1984]. Таким образом, среднемноголетний подрусловой сток в Черное море можно приблизительно оценить в 84 км^3 . Сложнее рассчитать величину подземного стока, разгружающегося непосредственно в море, минуя речную сеть. Достоверных данных, кроме отдельных участков Кавказского побережья, по этому вопросу нет. По аналогии со Средиземным морем, исходя из достаточно сходных геологических, климатических, гидрогеологических и других условий, она в сопоставлении с размерами бассейна, должна быть в три раза меньше, то есть 16 км^3 . Суммарное поступление подземных вод в этом случае будет ориентировочно составлять $84 + 16 = 100\text{ км}^3$.

Также, сугубо приближенно, для зоны активного водообмена субмаринную разгрузку можно оценить по модулям подземного стока. Величины модулей для побережий Черного моря сильно варьируют. Так, в аридных районах северо-западного побережья (зона сухих степей) средний модуль равен $0,1 \text{ л/с км}^2$. В районе влажных субтропиков Кавказского побережья (Сухуми – Батуми) они могут достигать 10 л/с км^2 . С учетом интенсивного водоотбора пресных подземных вод на побережьях средний многолетний модуль для бассейна можно оценить в $0,15 \text{ л/с км}^2$. В таком случае величина подземного стока в Черноморскую впадину будет составлять $18,9 \text{ км}^3$. При столь приближенных расчетах порядок цифр все-таки сохраняется.

Какова же роль подземных вод в формировании водно-солевого баланса Черноморского бассейна? Её можно представить следующим образом. Субмаринная разгрузка подземных вод происходит, главным образом, на шельфе и в прибрежной зоне. В мировой практике изучения субмаринной разгрузки источники, расположенные на глубине 70 м, уже считаются глубоководными и встречаются крайне редко [Shverdfger, 1981]. В Черном море лишь отдельные и весьма редкие случаи распреснения придонных вод зафиксированы в подводных каньонах на глубине 450–500 м [Шнюков и др., 1989 а, б.]. Эти единичные наблюдения более никем не подтверждены и, поэтому, не могут считаться достоверными.

Заметная локализация очагов субмаринной разгрузки позволяет считать, что ее влияние ограничивается небольшими глубинами. Исходя из геологических, структурных, гидрогеологических и других предпосылок влияние разгрузки ограничивается 150 м. Эта величина является также некоторой средней для стратификации Черноморских вод, в том числе для положения границы сероводородного заражения.

Объем верхнего 150 метрового слоя в Черном море составляет $62\,023,2 \text{ км}^3$. Ежегодный приток пресных и слабоминерализованных подземных вод, поступающих в этот слой, составляет всего $0,0016$ долю от его объема или $0,16\%$. Даже при ошибке на порядок величина его остается незначительной. К сказанному следует добавить, что субмаринная разгрузка перетеканием в большинстве случаев не оказывает прямого влияния на водно-солевой баланс водоема. Кроме того, смешение пресных подземных и соленых морских вод зачастую происходит ниже уровня дна в так называемой зоне дисперсии. Распреснение придонных вод и поровых растворов в верхнем слое морских осадков скорее исключение, чем правило.

Среднее значение минерализации поверхностных (речных) вод для Земного шара оценивается разными авторами в интервале 200–235 мг/л [Павлов, 1977]. Такое же значение общей минерализации вероятно можно принять для подруслового стока. Сложнее оценить минерализацию подземных вод, разгружающихся непосредственно в море. По-видимому, она характеризуется большей величиной. Например, для Крымского полуострова она изменяется от 0,7–0,8 мг/л (субмаринные источники в районе м. Айя) до 4–6 г/л (подземные воды района полуострова Тарханкут). Кроме того, здесь присутствуют выходы глубинных подземных вод с минерализацией 21,5 г/л (фоновая морская 18,1 г/л), разгружающихся по тектоническим нарушениям. Менее одного грамма на литр составляет общая минерализация вод субмаринных источников на побережье Кавказа (Гагра, пос. Гантиади). Поэтому, оценить общую величину ионного стока в бассейн Черного моря весьма затруднительно. Можно лишь предположить, что влияние подземного стока на водно-солевой баланс бассейна незначительно, исходя из общего объема разгружающихся вод.

ГЛАВА 7. ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШЕЛЬФА

Развитие большинства геологических дисциплин трудно представить без создания тех или иных моделей. Наибольшее распространение в геологии получили картографические построения. Для решения задач гидрогеологического изучения шельфа и прогнозных построений также необходимо создание различного рода моделей и проведение моделирования гидрогеологических процессов. Создание моделей априори основывается на двух принципах. Первый из них гласит: модель не должна на сто процентов повторять объект исследований (в таком случае это будет уже не модель). Второй: модель не должна полностью абстрагироваться от действительности (на такой модели нельзя получить реальных результатов). Наиболее приемлемыми считаются модели, описывающие (повторяющие) объект на 70–80 %.

Простой анализ модельных построений показывает, что все известные модели можно свести к трем типам: 1 – математические; 2 – аналоговые; 3 – физические.

Самые общие концептуальные представления о гидрогеологической модели шельфовых областей сформулированы А. Н. Павловым (математическая модель) [Коротков и др., 1980]. Согласно этой концепции построение обобщенной модели сводится к следующему. Цитируем:

- «в пределах гидрогеологической шельфовой подсистемы устанавливаются или строятся параметры, которые могут характеризовать её как группу: с помощью постулатов и теорем, определяющих группу, строят структуру группы»;
- «рассматривается устойчивость этой группы, распадение её на подгруппы разных порядков и т. д. То есть, вся подсистема описывается и анализируется с помощью теории групп».

Теория групп дает аппарат прогнозирования и управления гидрогеологической шельфовой подсистемой и позволяет раскрывать

фундаментальные её свойства. Для её создания, по мнению автора, с одной стороны нужны новые эмпирические факты, с другой – новая информация на основе уже накопленных наблюдений, такая, например, как спектральная характеристика T – матрицы и др.

Таким образом, сформулированная концепция, основанная на математических принципах (теории групп, марковости процессов, матричных вычислениях), по существу представляет собой некую идею всеобъемлющей гидрогеологической модели функционирования шельфа. Она до сих пор не разработана в деталях и далека от практического применения. Однако, другие, более общие идеологические построения гидрогеологических моделей нам неизвестны, и потому идея А. Н. Павлова достойна упоминания.

Как и в других областях науки, математическое моделирование позволяет решать многие задачи, связанные с гидрогеологией шельфа. Часть моделей опирается на традиционное описание процессов фильтрации с помощью систем дифференциальных уравнений. Например, в однородно изотропной среде распределение напоров описывается уравнением Лапласа и неразрывности [Основы, 1983]. Задачи изучения субмаринной разгрузки подземных вод (математическое моделирование прибрежного водообмена) можно решать и с помощью детерминированных уравнений [Моделирование, 1993]. Этот же математический аппарат позволяет моделировать так же геохимические и экологические ситуации в прибрежной зоне. Так в упомянутой выше работе рассмотрены:

- диффузия от произвольного периодического источника в движущейся среде;
- численно–аналитическая реализация моделей загрязнения и самоочищения прибрежных вод и др.

Не менее востребован второй тип моделей. Так отдельные задачи фильтрации решаются с помощью графических и аналоговых построений. В графических моделях фильтрации впервые способ построения гидродинамических сеток был предложен Ф. Форхгаймером (1935) и далее развит в работах Н. Гирина и Г. Каменского (1935, 1943). Графические модели фильтрации широко используются и в настоящее время, о чем будет сказано ниже. Масовое распространение в мире с практической реализацией результатов построения гидродинамических сеток получило после создания аналоговых моделей. По конструктивным особенностям выделяются [Уист, 1969]:

- сеточные электрические модели из сопротивлений и ёмкостей;
- сеточные модели из электрических сопротивлений;
- модели из электропроводных жидкостей и твердых материалов.

В 70–90-х годах XX века в Советском Союзе для решения ряда гидрогеологических задач широко применялась аналоговая вычислительная машина БУСЕ–70, в настоящее время незаслуженно забытая. С помощью этой машины удалось построить модель и рассчитать величину субмаринной разгрузки подземных вод в одном из районов юго-западного Крыма [Юровский и др., 1986 б]. Для выполнения расчетов использовалось дифференциальное уравнение стационарной турбулентной диффузии вида:

$$V_x \frac{\partial C}{\partial x} = D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (7.1)$$

где C – концентрация распространения вещества, мг/дм³; D_y – коэффициент продольной турбулентной диффузии, м²/с; V_x – скорость поступательного движения потока разгружающихся вод, м/с.

Условия моделирования получены путем сопоставления уравнения (7.1) и уравнения баланса токов в узлах сеточной модели, представленных в конечно-разностной форме.

В конструктивном отношении наиболее простыми, в получении результатов, являются модели на основе твердых электропроводных материалов. Как в зарубежных, так и в отечественных лабораториях для моделирования используется специальная электропроводная бумага с различными электрическими характеристиками (электропроводностью, сопротивлением). В применении к теории движения фильтрационных потоков хорошо апробирован метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). Определение расхода плоского напорного фильтрационного потока в грифоне субмаринного источника на действующей модели ЭГДА определяется как [Коротков и др., 1980]:

$$q = k \text{H} \rho I / (\delta U) = k \text{H} \rho (\delta R_m) \quad (7.2)$$

где q – фильтрационный расход, см²/с на один см. ширины потока; ρ – удельное сопротивление материала модели, ом · см; I – сила тока, ампер; δ – толщина модели, U – напряжение между шинами, вольт; δR_m – сопротивление модели, ом, k – коэффициент фильтрации.

В качестве примера один из результатов моделирования в виде гидродинамической сетки субмаринного источника представлен на рис. 7.1.

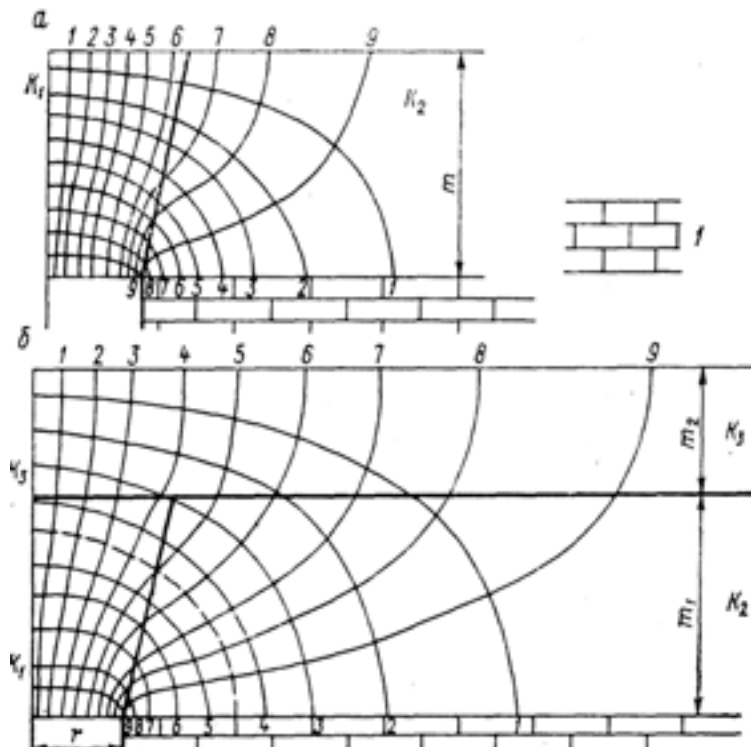


Рис 7.1. Гидродинамическая сетка субмаринного источника

l – известняки. Перекрытие грифона наносами: а – однократное, б – двукратное; $m_1 = 1$ м, $m_2 = 0,5$ м; r – радиус грифона источника; $K_1/K_2 = 1/2,8$; $K_2/K_3 = 1/1,45$.

Гидродинамические сетки могут быть построены без помощи аналоговых моделей. Этот, достаточно простой и наглядный метод изучения фильтрационных потоков, используется и в настоящее время. Применительно к задачам изучения субмаринной разгрузки подземных вод требуется модификация известных уравнений фильтрации. Аналитическое решение для оценки величины вертикальной фильтрации через донные отложения записывается в виде [Bokuniewicz, 1980]:

$$q = (K_i/\pi k) \ln [\coth (\pi x k/4l)]; \quad (7.3)$$

где q – вертикальный поток инфильтрации подземных вод; K – вертикальная водопроницаемость (принимается $K = \text{const}$); i – гидравлический градиент; k – квадратный корень отношения вертикальной и горизонтальной водопроницаемости; l – толщина водоносного слоя; x – расстояние от береговой линии (уреза).

Для построения гидродинамических сеток используются и более сложные приемы. Японские исследователи [Fucuoetal, 1988] выполнили моделирование процесса фильтрации подземных вод в озерную котловину с помощью конформных методов картографии (рис. 7.2). Иначе говоря, с помощью графических построений с использованием компьютерной техники.

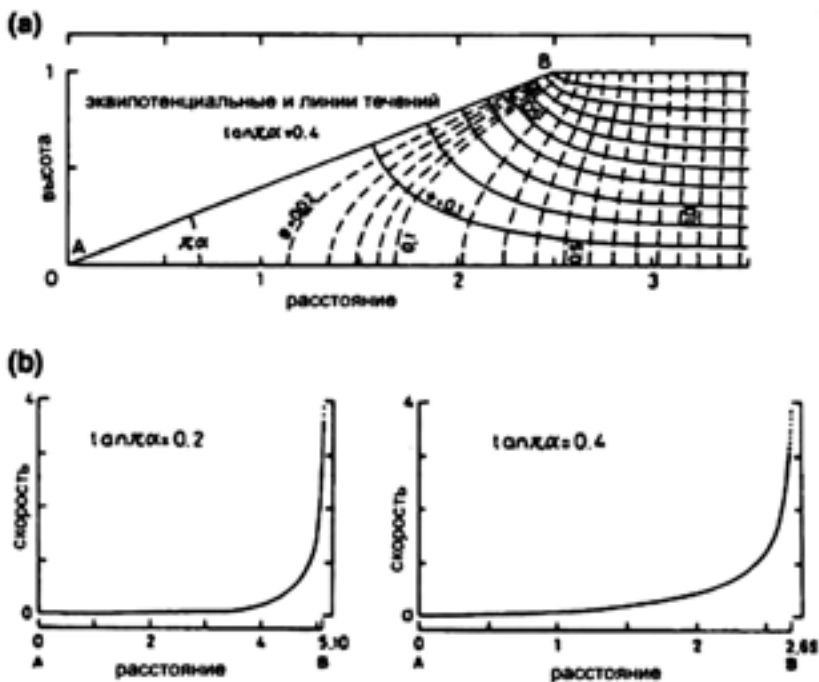


Рис. 7.2. Гидродинамическая сетка потока грунтовых вод [Fucuoetal, 1988]. а) эквипотенциальные линии течения около поверхности осадка; б) распределение удельного стока на поверхности осадка с небольшим уклоном.

Простая на первый взгляд модель оказалась весьма информативной. Результаты моделирования показали: при пологом уклоне дна величина субмаринной разгрузки подземных вод уменьшается по экс-

поненте с увеличением расстояния от уреза. Уменьшение величины субаквальной разгрузки происходит тем резче, чем более пологий уклон дна. Аналогичные результаты были получены и другими авторами на цифровых моделях [Anderson and Shen, 1993; Uchiyama et al., 2000; Liderfeld and Turner, 2001 et al.,]. В основу их положены дифференциальные уравнения геофильтрации в частных производных. Процедуру решения можно найти как в работах самих авторов, так и в монографии [Zektser, 2006]. В этих и ряде других модельных расчетов использовались моделирующие пакеты MODFLOW. Однако в работе [Quantifying, 2006] отмечается, что эти методы имеют определенные ограничения. Главным образом они касаются гетерогенных водоносных горизонтов. Водопроницаемость в таких пластах часто меняется на несколько порядков в пределах небольших расстояний, что трудно отразить в моделях.

Некоторые физические модели использовались на самом раннем этапе изучения фильтрационных процессов. За рубежом в построении моделей использовались параллельные пластины, движение вязкой жидкости между которыми было математически проанализировано Стоксом в 1899 г. По имени первого конструктора они получили название «модели Хеле – Шоу». Для моделирования процессов фильтрации часто использовались лотки, заполненные грунтом. В лабораторной практике для определения коэффициента фильтрации широко применялся прибор Тима – Каменского – по существу физическая модель для изучения процессов вертикальной фильтрации.

Автором в 1971–1973 годах на физической модели оригинальной конструкции проводилось изучение факелов субмаринных источников. Подробное описание модели и результаты экспериментов приведены в работе [Коротков и др., 1980]. Конструкция и размеры модели позволили исследовать:

- гидродинамические, гидротермические и гидрохимические характеристики факелов разгружающихся подземных вод и связь их с параметрами источника;
- электрофизические характеристики факелов разгружающихся вод и связь их с дебитом источника.

Электрофизические характеристики факелов субаквальных источников определялись с помощью двухэлектродной установки с помощью свинцовых – хлор-свинцовых слабополяризующихся электродов конструкции НИИ Геологии Арктики (малая модель), применяемых и в натуральных условиях. Результаты экспериментов изложе-

ны в работе [Александров и др., 1973]. Положительные данные экспериментов позволили рекомендовать метод к натурному использованию для обнаружения и оценки дебита субмаринных источников. Формулы для оценки дебита при применении двухэлектродной установки были позднее предложены С. Коротаевым [Коротаев, 1975].

Относящуюся к самостоятельным классам математических моделей природных процессов можно считать логико-информационную модель, разработанную академиком НАН Украины В. И. Беляевым [Беляев, 1987, Беляев и др., 1989.]. За основу построения логико-информационной модели принято понятие функционирующего элемента. Все объекты природной среды рассматриваются далее как совокупность функционирующих элементов, взаимосвязанных между собой.

Структура логико-информационной модели, согласно В. Беляеву, представляется в виде графа. Исходя из теории графов, построение модели сложной системы начинается с последовательного учета всех элементов, связанных с элементами, выбранными в качестве «центральных». Процедура продолжается до выхода на связь с внешними факторами. Состояние элементов, относимых к внешним факторам, считается заданным. Все элементы распределяются по иерархическим уровням в структуре модели: центральные функционирующие элементы образуют нулевой уровень; первый уровень – элементы, вырабатывающие ресурсы, непосредственно потребляемые центральными элементами; второй уровень – элементы, производящие ресурсы для элементов первого уровня и т. д. Поскольку логико-информационная модель разрабатывалась для решения экологических проблем, антропогенное воздействие в ней рассматривается в качестве отрицательных ресурсов, в отличие от ресурсов, обеспечивающих нормальное функционирование природных комплексов.

В настоящее время, понятийные представления логико-информационной модели представляется возможным использовать в более широком плане, например, для решения гидрогеологических задач. Или для решения совместных задач: загрязнения подземных вод, загрязнения водоемов подземными водами и других. В работе [Моделирование..., 1993] рассматривается комбинированный метод анализа воздействия антропогенных факторов на морскую среду, позволяющий сочетать логико-информационную и гидродинамическую модели.

Краткое рассмотрение приведенных выше теоретических и практических положений к разработке гидрогеологических моделей

шельфа и прибрежно-морского экотона, позволяет сделать следующие определенные выводы.

1. Для каждого класса задач в настоящее время существует достаточно большой выбор различного вида моделей.
2. При использовании некоторых моделей для решения чисто гидрогеологических задач их необходимо адаптировать, изменяя при этом начальные и граничные условия.
3. Перспективными для комплексных оценок условий гидрогеологического функционирования шельфа являются математические и аналоговые модели, а для оценки антропогенного воздействия на морскую среду – логико-информационная модель.

Потенциальные возможности построения гидрогеологических моделей далеко не исчерпаны. Можно также полагать, что достаточно перспективным направлением является комбинированное моделирование. То есть использование разных типов моделей для изучения одного процесса. Однако, опыт подобного рода исследований пока не велик. Очевидно и то, что любые модельные построения должны базироваться на реальных базах данных. Проведенные на моделях исследования в обязательном порядке заверяются в натуральных условиях. Совпадение в восемьдесят и более процентов считается удовлетворительным результатом моделирования.

На практике, для проведения отдельных видов исследований, можно пользоваться уже созданным программным обеспечением. Например, для реализации модели экосистемы шельфа в Украине существует компьютерная программа «Экошельф», апробированная в северо-западной части Черного моря и в Гданьском заливе Балтийского моря. На основе применения логико-информационной модели создана диалоговая компьютерная программа «Логинформ». Такой подход представляется наиболее рациональным при гидрогеологическом изучении шельфа.

ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЯ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ШЕЛЬФА

Во второй половине XX века человечество всерьез озаботилось состоянием окружающей среды, в том числе Мирового Океана. Уже в 50–70-е годы известный океанолог Жак Ив Кусто настойчиво обращал внимание Мирового сообщества на недопустимо высокий уровень загрязнения морских вод. Благодаря его авторитету появились первые международные экологические программы защиты морской среды. С ростом техногенных нагрузок проблемы экологической безопасности прибрежной и шельфовой зон приобрели в последние десятилетия особую значимость. В Украине об актуальности этих вопросов свидетельствует ежегодное издание сборника научных трудов «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа» Национальной Академии Наук (Морской гидрофизический институт, Институт геологических наук, Институт биологии южных морей), научно-технического журнала «Екологія довкілля та безпека життєдіяльності» и других. К крупным обобщающим работам последнего времени следует отнести монографии «Екогеохімія Чорного моря» и «Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем» [Митропольский и др., 2006, Иванов и др., 2006].

Определились приоритетные направления экологических исследований. Среди направлений научных работ главными и самостоятельными являются следующие задачи:

- экологический мониторинг прибрежной и шельфовой зон морей;
- научные основы комплексного использования природных ресурсов;
- разработка новых средств и методов контроля морской среды;
- биотехнологии воспроизводства качества среды и биоресурсов.

При этом, в большинстве случаев, в публикациях рассматривается прямое воздействие антропогенных и техногенных нагрузок на морские воды, трансформация полей загрязняющих веществ и влияние их на развитие шельфовых экосистем. К сожалению, наименее изученной в экологическом отношении является взаимосвязь подзем-

ных и морских вод. Экологические следствия разгрузки подземных вод, в том числе водоносные горизонты, подвергшиеся техногенному воздействию, в пределах Украинского шельфа практически не исследовались. Сравнительно мало изучены и следствия интрузий морских вод в сторону суши. Между тем, с ростом освоения приморских территорий многократно возрастают и техногенные нагрузки на подземную гидросферу. Изменяются балансовые составляющие водообмена море – суша. Увеличивается вынос поллютантов с подземными водами в морские акватории. Наряду с другими причинами, это приводит к экологической деградации прибрежно-морских областей и имеет негативные последствия для экономики побережий. Так поступление питательных веществ, содержащихся в подземных водах, провоцирует цветение морских водорослей, включая вредные их разновидности, загрязняет донные отложения и поровые воды.

В мировом опыте наиболее изученными в экологическом отношении следствиями субмаринной разгрузки подземных вод считаются акватории западного побережья Австралии (лагуна у г. Перт) и южное побережье о. Лонг-Айленд (США). Коротко остановимся на этих примерах. На побережье Индийского океана, в районе г. Перт (юго-западная Австралия) в середине 80-х годов XX века были проведены детальные 29-месячные исследования в лагуне по изучению субмаринной разгрузки подземных вод [Johannes et al, 1985]. Кроме того, большое количество информации, относящееся к экологии прибрежной зоны, было собрано за последние 20–37 лет. Основными источниками загрязнения подземных вод в области питания являлись различные отстойники и, вносимые в почву, удобрения. Масштабы разгрузки грунтового водоносного горизонта (субмаринные источники и разгрузка перетеканием), на протяжении 80 км береговой линии приближенно оцениваются в $180 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$. В пробах, отбираемых в области литорали и акватории лагуны с борта научно-исследовательского судна, определялись нитраты, силикаты и соленость. Результаты исследований показали, что нитратов и силикатов в 2–2,5 раза больше в области разгрузки подземных вод по сравнению с фоновыми, а значения их концентраций хорошо коррелируются с соленостью (рис. 8.1).

Степень экологического воздействия субмаринной разгрузки оценивалась по росту водорослей. Для определения площади, занимаемой макрофитами, использовались данные аэрофотосъемки и подводные наблюдения. Общий приток питательных веществ (соединения азота) в лагуну (NO_3 , NO_2 и NH_4) с подземными водами обеспе-

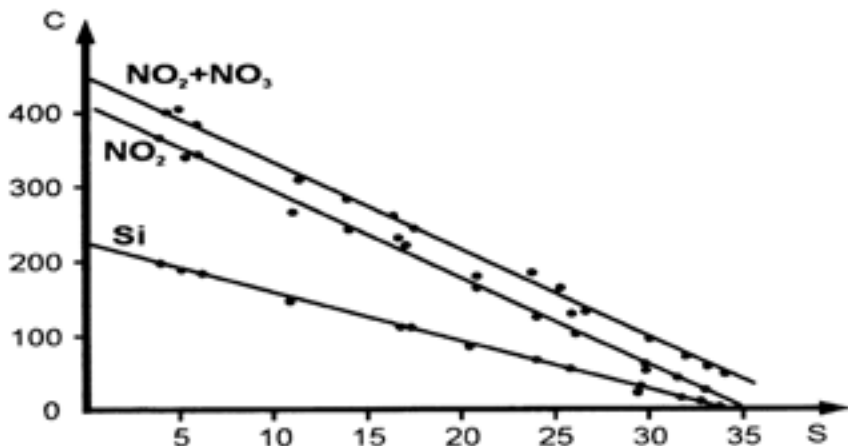


Рис. 8.1. Зависимость концентраций C (μM) нитратов и кремния от солёности воды S (‰) в зоне субмаринной разгрузки подземных вод в лагуне г. Перт (Австралия) [Johannes et al., 1985].

чивает 48 % или 208 кг/сут потребляемого количества азота для развития макрофитов. За счет их отмирания в пределы лагуны дополнительно поступает от 29 до 60 % азотистых соединений. Таким образом, в лагуне сохраняется баланс потребления и поступления нитратов и буйного развития макрофитов не отмечается. Хорошее развитие макрофитов способствует успешному рыболовству и высокопродуктивному лову омаров. Настораживает экологов лишь постоянный рост концентраций нитратов в подземных водах, связанный с урбанизацией в области питания водоносного горизонта.

Спустя 15 лет, в период 25.11 по 06.12. 2000 года на этом же участке многонациональной группой ученых была проведена оценка субмаринной разгрузки подземных вод [Barnett et al, 2006]. В комплексе методов применялись измерители инфильтрации («Lee-Ture») и непрерывные измерения радона. Время пребывания подземных вод в водоносном горизонте оценивалось по соотношению $^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$. Продолжительность водообмена определена в 3,3 суток. Сток подземных вод в море оценивался четырьмя методами, показавшими хорошую сходимость результатов (табл. 8.1)

Результаты последних исследований позволили уточнить величину субмаринной разгрузки в лагуну, количество выносимых подземными водами растворенных веществ и выявить степень деградации прибрежных бентосных сообществ.

Таблица 8.1.

**Субмаринная разгрузка подземных вод на участке
Кокбурн Саунд (м³/м в сут) [Quantifying, 2006]**

Величина субмаринной разгрузки (м ³ /м сут)			
Измерители инфильтрации	Изотопы радия	Радон	Моделирование
2,2 – 3,7	3,2	2,0 – 2,7	2,5 – 4,8

Не секрет, что в крупных городах-мегаполисах и вокруг них экологические условия близки к критическим. Негативная экологическая обстановка сложилась в прибрежной зоне о. Лонг-Айленд (Нью Йорк, США) вследствие разгрузки загрязненных грунтовых вод. Сам остров может служить примером высокой урбанизации приморских территорий – здесь проживает более 4 миллионов человек. Верхняя часть разреза о. Лонг-Айленда представлена гляциальными и флювиогляциальными отложениями мощностью 30–40 метров в виде супесей и песков различной крупности от мелкозернистых до гравийно-галечных. Средняя концентрация нитратов в подземных водах этих отложений превышает 100 мг/л.

После ряда тревожных статей в местной прессе в 1982–1983 годах Морским научно – исследовательском центром Нью Йоркского университета в Большом Южном заливе было проведено изучение субмаринной разгрузки и содержания нитратов в поровых водах современных морских осадков [Carone et al, 1985]. Поровые растворы изучались по профилям с глубиной отбора колонок грунта в 40 см. В большинстве случаев в зоне субмаринной разгрузки подземных вод отмечен рост концентраций нитратов с глубиной при одновременном уменьшении солености (**рис. 8.2**).

Оказалось, что связь между соленостью и концентрациями нитратов выражается прямой линией с коэффициентом корреляции 0,925. Объемы поступающих в залив азотных соединений, наряду с другими видами загрязняющих веществ, разрушают сложившиеся донные экосистемы, стимулируя развитие одних видов и подавляя другие виды фитобентоса. Об опасности употребления в пищу морепродуктов, добытых в этом районе, неоднократно предупреждали санитарные службы штата.

Территория Нью-Йорка включает в себя десятки островов со сложной конфигурацией береговой линии. Восточная часть острова Лонг-Айленд разветвляется, образуя залив Пеконик (Peconic), в котором находится ряд небольших островов, в том числе Шелтер

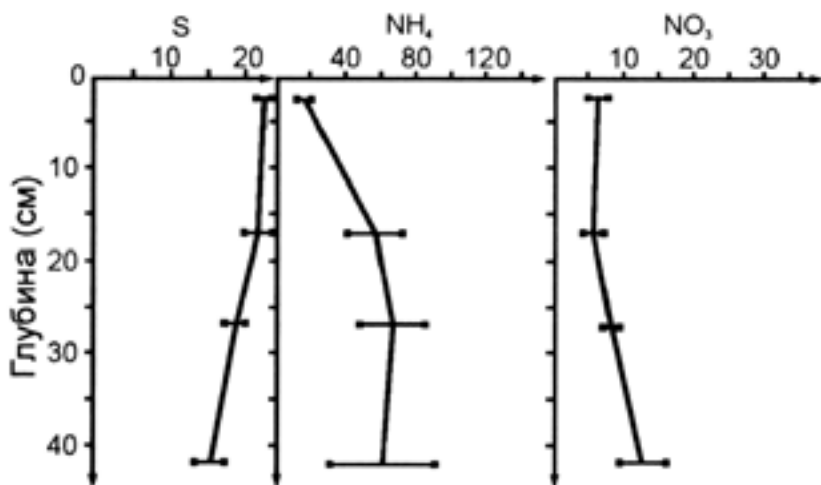


Рис. 8.2. Изменения солености (S ‰), содержания аммиака и нитратов (в милли-молях) в поровых водах донных отложений с глубиной [Carone et al., 1985].

(Shelter Island). С 1985 года один из заливов острова Шелтер (West Neck Bay) стал заполняться вредными быстро растущими водорослями *Aureococcus anophagefferens* («Коричневый прилив»). Для установления величины субмаринной разгрузки загрязненных нитратами подземных вод в акваторию залива использовался комплекс методов. В состав методов входило ручное измерение фильтрации с помощью приборов Ли («Lee-Ture») и ультразвуковые измерения. Кроме того, использовались температурные наблюдения, запуски красителей, проводились радиологические исследования (в качестве радиотраассирующих элементов применялись изотопы радия и радон). Среденная по всем методам норма инфильтрации (субмаринной разгрузки) составила $0,5 \text{ м}^3/\text{м сут}$. Таким образом, общий объем субмаринной разгрузки только в бухту острова Шелтер площадью $1,6 \text{ км}^2$ составляет не менее 800 тысяч $\text{м}^3/\text{сут}$. Не считая других загрязнителей, вынос нитратов в бухту приблизительно можно оценить в 30 т/год. Распределение величины субмаринной разгрузки по дну бухты неравномерно. Наибольшие ее значения наблюдаются в техногенно-нарушенных грунтах, в частности, в районе, примыкающем к пирсу.

Сравнительно слабо изучены экологические последствия загрязненного подруслового стока. Водосборные площади речных бассей-

нов в экономически развитых странах практически повсеместно подвержены сильному антропогенному воздействию. Грунтовые воды, дренируемые речными руслами, как правило, сильно загрязнены различными химическими веществами. В сельскохозяйственных регионах среди загрязнителей доминируют соединения азота, фосфора и ядохимикаты (пестициды, гербициды, фунгициды). В 1982 году на конференции, посвященной проблемам антропогенного воздействия на качественный состав подземных вод, проходившей в Брауншвейге (ФРГ), нитратное загрязнение было названо «критической проблемой века» [Бриллинг, 1985]. Повышенные концентрации нитратов в подземных водах зафиксированы и на многих участках морских побережий. В Нижнерейнской бухте в аллювиальных водах обнаружены концентрации нитратов до 41–49 мг/л. В прибрежной зоне штата Делавер (США) питьевые воды содержат 10–20, а в некоторых случаях и более мг/л нитратов. В дельте реки Эбро (Испания) концентрации нитратов в подземных водах достигают ураганных значений – около 1000 мг/л. Особенно негативно вынос нитратов влияет на экологию бухт, эстуариев и заливов.

В урбанизированных и промышленно развитых районах аллювиальные воды загрязнены широким спектром химических соединений и токсичных элементов. Техногенные загрязнители часто попадают в грунтовые воды вследствие утечек, из мест складирования, свалок технических и бытовых отходов и т. д. Особенно широкое распространение приобрели такие загрязнители как тяжелые металлы и их соединения. При этом, в анализе экологической обстановки следует четко различать их генезис. Присутствующие в аллювиальных отложениях и аллювиальных водах тяжелые металлы могут иметь как техногенное, так и литогенное происхождение.

Естественное литогенное загрязнение донных осадков тяжелыми металлами наблюдается в реке Эклесбурн (Девоншир, Англия) в связи с природным оруденением в верхней части долины. Повышенные содержания свинца и цинка – 1840 и 420 мкг/г, соответственно, поступают с продуктами речной эрозии в составе твердого стока реки в конус выноса р. Гел (Бельгия). Имеются сведения о загрязнении аллювия и подземных вод рек Висла, Рейн, Рона, Дунай и др. Наиболее достоверные данные о литогенном загрязнении тяжелыми металлами помещены в **таблицу 8. 2**. Загрязнению природных вод тяжелыми металлами, в том числе океанов и морей, посвящена фундаментальная работа Дж. Мура и С. Рамамурти [Мур и др., 1987].

**Литогенное загрязнение приустьевых участков рек
тяжелыми металлами.**

Государство	Река	Загрязняющие элементы	Источник
Англия	Эклесбурн	Pb, Zn, Cd	Мориарти Г., Хансон Н
Бельгия	Гел	Pb, Zn	Мориарти Г., Хансон Н
Греция	Акснос, Альякмон	Pb, Zn, Mn, Cr, Cd	Саманидос В.
Индия	Ганг, Брахмапутра, Годовари, Кришна, Кавери, Рушакулья	Pb, As	Сабраманин В. и др.
Япония	Реки центральных островов	Ni, Co	Накамура Фумио и др.

На дне Черного моря к особому типу литогенного загрязнения можно отнести ртутное в местах струйных газовых выделений. Эффект аномально высоких концентраций ртути зарегистрирован во время двух рейсов НИС «Профессор Водяницкий» [Пасынков, 2006]. В 31 рейсе в 1990 г. было обнаружено, что в поле газовых струй на глубине 67 метров воды придонного слоя имели концентрацию ртути в 7 раз выше фоновой. В 34 рейсе 1999 года, на северо-западном шельфе Черного моря, измеренные концентрации ртути в донных осадках и придонном слое поля газовыделений (глубина 60–100 м) в три – четыре раза превышали фоновые. Повышенные концентрации ртути так же зафиксированы в выбросах некоторых подводных грязевых вулканов на дне Черного моря [Шнюков, 1999, Шнюков и др., 1999 б].

Высокие концентрации тяжелых металлов можно рассматривать как аномальный геохимический фон. Однако естественное загрязнение подземных вод не ограничивается тяжелыми металлами. В качестве естественных поллютантов могут выступать фтор, сероводород, марганец и некоторые другие вещества.

В отличие от естественного, техногенному (антропогенному) загрязнению присущ более широкий спектр токсичных веществ и соединений. По масштабам проявления этот вид негативного влияния на подземные воды можно разделить на локальное и региональное. Локальные проявления ухудшения качества подземных вод связа-

ны с разработкой месторождений полезных ископаемых (солей, легко выщелачиваемых руд, нефти и др.), на участках отвалов хвосто- и шламохранилищ. Локальные контрастные ореолы загрязнения образуются у свалок бытовых и промышленных отходов, вблизи химических и нефтеперерабатывающих заводов, на территориях населенных пунктов, в том числе приморских. Локальные очаги загрязнений морских вод и донных осадков также наблюдаются вблизи портов, якорных стоянок, мест сброса промышленных и коммунальных стоков и т. п.

Очень опасный региональный тип загрязнения грунтовых вод наблюдается на многих сельхозугодиях в связи с внесением органических и химических удобрений, обработкой растений инсектицидами, при проведении гидромелиоративных работ. К региональному типу можно отнести резкое ухудшение качества грунтовых вод в районе крупных городов. Региональное воздействие на грунтовые воды происходит при выпадении кислотных дождей.

Соответственно возникают проблемы с выявлением масштаба этого явления. Региональная оценка выноса токсичных веществ подземными водами в прибрежную зону связана с характером источников загрязнения (их типом, расположением, мощностью, особенностями миграционных свойств загрязняющих веществ и соединений), а также масштабами взаимодействия подземных и морских вод. То есть она определяется величиной субмаринной разгрузки подземных вод и степенью их загрязнения. Поэтому, региональную оценку выноса токсикантов целесообразно выполнять, основываясь на типизации условий взаимодействия подземных и морских вод. Определенные трудности в региональной оценке экологического состояния грунтовых подземных вод в области их субмаринной разгрузки связаны с локальными очагами загрязнения. Каждый из таких очагов имеет свою специфику в составе токсических веществ, и свои масштабы развития ареалов. Антропогенные очаги имеют разное происхождение (промышленное, сельскохозяйственное, бытовое, транспортное), неравномерно расположены на побережьях и имеют ряд других особенностей. Покажем это на примере эколого-геологических исследований на Черноморском побережье Крымского полуострова.

В 1992–1993 годах комплексные работы по изучению взаимосвязи подземных и морских вод и ее экологическая оценка выполнялись автором. В районе развития плиоцен-четвертичных отложений на севере Тарханкутского полуострова они показали следующее.

Из загрязняющих веществ в подземных водах обнаружены фосфогипс, нитратные соединения, ароматические углеводороды, сульфиды железа. Детальные исследования в системе вода – горная порода включали химический анализ водосодержащих грунтов, сухого остатка водных проб и, отдельно, тонких фракций (диаметром менее 0,01 мм). Как оказалось, ассоциации таких элементов как медь, никель, олово, титан, магний и марганец обнаружены во всех элементах системы вода – порода. Германий и цинк только в твердой фазе (грунт, тонкие фракции), кадмий только в тонких фракциях. Фосфор присутствовал во всех водных пробах. Свинец и медь присутствуют во всех фазах. Об их вариабельности можно судить по данным, приведенным в **таблице 8.3.**

Таблица 8.3.

Характеристика вариабельности концентраций свинца и меди в подземных водах и грунтах плиоцен-четвертичного возраста (прибрежная зона). [Юровский, 2001 б]

Элемент	Грунты			Сухой остаток			Фракции менее 0,01 мм		
	Х _{ср}	δ	C _v	Х _{ср}	δ	C _v	Х _{ср}	δ	C _v
Pb 10 ⁻⁴	15,01	10,34	0,686	3,42	1,33	0,388	30,30	7,05	2,328
Cu 10 ⁻³	2,20	0,60	0,320	0,43	0,21	0,485	5,01	5,58	1,115

В таблице: Х_{ср} – среднеарифметическое; δ – среднеквадратическое отклонение; C_v – коэффициент вариации. Размерность 10⁻³ соответствует 1 г/дм³ или 1 г/кг для грунтов.

Обработка результатов химических анализов показала, что наибольшей изменчивостью концентраций загрязняющих веществ отличаются тонкие фракции пород, что объясняется их хорошими сорбирующими свойствами. Наоборот, в водных пробах, изменчивость концентраций тяжелых металлов приблизительно одинакова. Максимальные концентрации свинца и меди превышают в этом районе ПДК для почв в 10–12 раз, а на ряде участков побережья (п. Северное, Славное) в 2–4 раза. В тонких фракциях также зафиксированы превышения цинка, молибдена и хрома до 2–5 ПДК.

В пробах природных вод содержание фосфора изменяется в широких пределах от 0,007 до 0,827 мг/дм³. Более чем в 10 раз изменяется содержание нитратов: от 9,0–до 98,3 мг/дм³. Средние значения концентраций соединений азота превышают ПДК в 2–4 раза. Из-за низких коллекторских свойств грунтов (тяжелые суглинки и гли-

ны) загрязнение прибрежно-морских вод обусловлено не субмаринной разгрузкой, а плоскостным смывом, сбросом неочищенных поливных вод дренажных систем, рисовых чеков и, частично, загрязнением аэрозольным путем. Суммарное поступление загрязняющих веществ в прибрежную зону, особенно фосфора и нитратов, привело к высокой степени евтрофикации кутовой части Каркинитского залива. Поровые воды донных отложений и придонные слои моря имеют сильный запах сероводорода, бентосная фауна полностью уничтожена [Юровский, 2001 б]

Наши наблюдения подтверждают и другие источники. О высоком уровне загрязнения северной части Тарханкутского полуострова, в том числе береговой зоны, говорится в информационном бюллетене «Состояние геологической среды Украины» за 1991 г [Информационный..., 1972]. В нем отмечается, что в Раздольненском и Черноморском районах содержание нитратов составляет 2–4 ПДК. В подземных водах также обнаружены пестициды, а коли-индекс достигает 1100, что свидетельствует об опасной бактериологической обстановке. Большой материал по химической нагрузке на геологическую среду в результате интенсивного применения пестицидов и минеральных удобрений содержится в материалах ПГО «Крымгеология». Так, в северной части Тарханкутского полуострова азотные удобрения вносятся в количестве более 100 кг/га. Дополнительная нагрузка происходит от внесения серы и медного купороса, что составляет 1,4–2,8 кг/га.

В южной и западной части Тарханкутского полуострова, в районе развития карбонатных отложений мэотис-сарматского возраста, сложилась другая экологическая обстановка. Загрязнение подземных вод нитратами и бытовыми стоками носит локальный характер. Оно проявляется у животноводческих ферм и таких населенных пунктов как Межводное, Черноморское и Оленевка. За их пределами антропогенное влияние на подземные воды практически не распространяется. Опробование колодцев, находящихся в непосредственной близости от уреза моря (первые десятки метров), показало, что содержание нитратов значительно меньше ПДК – от 0,2 до 0,6 мг/дм³. Имеет значение и то обстоятельство, что области субмаринной разгрузки подземных вод находятся в зоне активного волнового перемешивания и действия волновых и дрейфовых течений. Загрязняющие вещества, выносимые в эту область с подземным стоком, быстро разбуживаются и уносятся за пределы прибрежной зоны.

Процессы сульфатредукции в отдельных бухтах полуострова и разгрузка углеводородных газов способствует образованию есте-

ственных очагов сероводородного заражения. Механизм образования таких локальных явлений рассмотрен в работах [Лущик и др. 1985, Юровский и др., 1986 а]. Исключение составляет бухта пгт Черноморское, евтрофикация которой вызвана как естественными, так и антропогенными факторами (базирование гражданских и военных судов, ливневые и коммунальные стоки). Изучение контрастных локальных очагов сероводородного заражения перспективно для решения многих задач, связанных с экологией прибрежно-морской зоны.

Подземные воды западного Крыма подвержены нитратному загрязнению. Сильное загрязнение нитратами подземных вод наблюдается в верхней части оз. Донузлав и Альминской низменности, на сельскохозяйственно развитых площадях. Концентрации нитратов в июне 1993 г. в левом борту долины оз. Донузлав составили 29,9–58,4 мг/дм³, аммиака 0,019–0,238 мг/дм³. По другим сведениям, концентрации нитратов в это же время в районе Орловского водозабора были в пределах 140–224 мг/дм³. Эти и другие данные опробования позволили нам приближенно оценить вынос нитратов в акваторию моря на отдельных расчетных участках. Расчеты сделаны для сарматского водоносного горизонта, на 1 метр ширины потока (табл. 8.4).

Загрязнение понт-мэотис-сарматского водоносного комплекса в юго-западном Крыму носит комплексный характер. В районе химических заводов г. Саки подземные воды загрязнены марганцем, железом и мышьяком. Береговая зона, а также область питания водоносного горизонта – района интенсивного развития земледелия (садоводство, виноградарство, посевы зерновых и др.) – находятся в пределах самых высоких химических нагрузок на почвы за счет применения азотных удобрений, медного купороса. Дренируя повсеместно, загрязненные грунтовые воды насыщаются соединениями азота, серы, интоксицидов, фунгицидов, гербицидов. Часть этих токсических веществ сорбируется почвой, часть попадает в подземные воды. По нашему мнению в этом районе целесообразна постановка детального геохимического мониторинга и специальных исследований. Только после этого появится возможность достоверной оценки выноса токсических веществ и соединений в акваторию моря.

Дренируя загрязненные грунтовые воды, речные долины направляют их к морю. Поэтому, отдельным объектом геоэкологических исследований являются конуса выносов рек, где имеются очаги субмаринной разгрузки аллювиальных вод. Очаги разгрузки представлены либо малодобитными субмаринными источниками (кавказские реки Псоу, Бзыбь), либо площадной разгрузкой в виде интервалов

Таблица 8.4.

**Количество нитратов, выносимых подземными водами
в акваторию Черного моря на расчетных участках**

Положение и номер участка	Единичный расход на 1 м поток (м ³ /сут).	Содержание нитратов в пробах (мг/дм ³)	Вынос нитратов на 1 м ширины потока (мг/сут)
Левый борт оз. Донузлав, мэотис-сарматский водоносный горизонт.	10	55,6	5560
Левый борт оз. Донузлав, мэтис-сарматский водоносный горизонт	10	58,4	5840
Левый борт оз. Донузлав, мэотис-сарматский водоносный горизонт	6	29,9	1794
Участок 5. Каламитский залив (Николаевка), сарматский водоносный горизонт	1,05	224	23520
Участок 4. Каламитский залив (Николаевка) сарматский водоносный горизонт	Паводок 12,0	140	13650
	Межень 9,75	224	21840

высачивания (крымские реки юго-восточного побережья). Анализ материалов опробования в замыкающих створах Крымских рек показывает следующее [Юровский и др, 1995]. В верхней части разреза аллювиальных отложений 0–10 см наблюдается незначительная изменчивость всех химических элементов, характеризующая в целом заключительную часть последнего паводка. Менее сортированный материал и большие вариации концентраций элементов располагаются на глубине 0,4–0,7 м от поверхности русла. По отношению к фоновым концентрации свинца изменяются в 10 раз, висмута в 12,7, кадмия в 16, олова в 23,8. В меньшей мере (4,5–5,3 раза) изменяются концентрации меди, цинка, бария и мышьяка.

Практически все приустьевые участки крымских рек в летнюю межень превращаются в сточные каналы. В паводки экологическая обстановка несколько улучшается. Наиболее неблагополучными среди рек юго-восточного Крыма выглядят приустьевые части рек Ворон

и Улу-Узень. Согласно методическим рекомендациям [Володин и др., 1990] в отдельных пробах аллювия ПДК по мышьяку превышено здесь в 6 раз, кадмия в 20, свинца в 2,6, меди в 2,0 раза. Превышение этих же элементов в 2–5 раз по сравнению с ПДК выявлено и в других реках: Шелен, Андус, Ортаузень, Таракташ. Повсеместно на уровне ПДК наблюдаются концентрации никеля, марганца и фосфора.

Несколько иная обстановка наблюдается в конусах выноса. [Юровский, 1999 б] Вынесенный в море аллювиальный материал подвергается активной волновой переработке, сортировке и разубоживанию морскими наносами. В очагах разгрузки подземных вод, выносимые в растворенном виде элементы, попадают в область геохимических барьеров. В зоне дисперсии и в придонном слое они смешиваются с морскими, что существенно отражается на уровне концентраций всех элементов. Водное опробование придонных, поровых вод в конусах выноса, а также поверхностных и аллювиальных вод в замыкающих створах показало следующее. В речных водах, в зависимости от фаз водного режима содержание нитратов изменяется в пределах 1,96–23,57 мг/дм³ (р. Ускут) и 5,04–24,68 мг/дм³ (р. Ворон). В очагах разгрузки аллювиальных вод в конусах выноса содержание нитратов достигает 30,37–44,91 мг/дм³ (реки Ускут, Таракташ, Шелен). Общее количество выносимых нитратов в очагах разгрузки, учитывая паводковый режим, зарегулированность и пересыхание отдельных рек, может значительно меняться, составляя для упомянутых рек величины от 0,2 до 1,6 т/год. Очаги разгрузки также характеризуются повышенным содержанием двух- и трехвалентного железа (до 0,276 мг/дм³), брома (до 87,3 мг/дм³) и отчасти бора.

Детальные исследования поверхностных, аллювиальных и поровых вод конусов выноса на приборе «Биотестер–2» показали, что при общем сравнительно низком содержании токсических веществ и соединений все природные воды в разной степени токсичны. Наиболее загрязнены природные воды в населенных пунктах Солнечногорское, Рыбачье, Морское, Судак. Различные градации токсичности – от слаботоксичной до сильнотоксичной – объясняются комплексированием (реакцией синергизма), реакционной способностью веществ загрязнителей, а также наличием большого количества органических и минеральных взвесей, являющихся хорошими сорбентами. Большое значение также имеют формы нахождения токсикантов в воде (например, тяжелых металлов) и подвижность этих соединений.

Изучение экологической обстановки в приустьевых частях рек было дополнено подводным обследованием конусов выноса. Наблю-

дения выявили весьма тяжелые экологические последствия субмаринной разгрузки подземных вод. Наряду с общим загрязнением дна, главным образом бытовым мусором, выносимым в паводковые периоды, оказалось, что на значительных площадях полностью отсутствует бентосная фауна. Эти площади представляют собой не что иное, как очаги разгрузки подрусовых вод. На прилегающих к ним участках в крайне угнетенном состоянии встречаются отдельные веточки *Cystoseira barata*, практически отсутствует *Mytilaster*, многие виды морских улиток (*Bittium*, *Cerithium* и др.), служащие индикаторами состояния донных биоценозов. Локализация очагов субмаринной разгрузки аллювиальных вод в пределах конусов выноса значительно снижает общий негативный эффект попадающих в прибрежную зону токсикантов. Однако повсеместная тенденция нарастания антропогенных нагрузок в речных долинах южного и юго-западного Крыма вызывает серьезные опасения в региональном экологическом благополучии этой наиболее перспективной для развития рекреации части Крымского побережья.

Анализ имеющихся материалов позволяет сформулировать ряд очевидных положений.

1. Из всего многообразия проблем, связанных с экологией прибрежной и шельфовой зон, следствия субмаринной разгрузки подземных вод являются наименее изученными. Очаги разгрузки распределяются в прибрежной зоне крайне неравномерно. Масштабы самой разгрузки сильно варьируют, достигая иногда значительных величин. Как уже отмечалось, для Средиземного моря общий подземный сток составляет $68 \text{ км}^3/\text{год}$, а вынос солей подземными водами с Европейского континента оценивается в 27,4 млн т/год [Зекцер и др., 1984]. Разгружающиеся подземные воды чаще всего резко отличаются от морских по своим физико-химическим свойствам. Различия наиболее контрастны в очагах с инъекционным механизмом разгрузки сероводородных, термальных и минеральных вод. С одной стороны такие очаги являются необходимым компонентом в формировании сложившегося водно-солевого состава вод морей, с другой стороны, устойчивые аномалии часто губительны для большинства гидробионтов. В первом случае очаги разгрузки – важная часть автохтонных процессов, во втором – очаги «естественного» загрязнения.

2. Негативное воздействие субмаринной разгрузки подземных вод на морские организмы достаточно разнообразно. В морях с нормальной океанической соленостью зоны распреснения вызывают угнетение и гибель большинства стеногаалинных организмов. Даже

в относительно распресненных водах Черного моря в заполнителе грифонов пресных субмаринных источников встречаются раковины погибших *Rapa*, двустворок и останки других морских организмов. Еще более тяжелые экологические следствия имеет разгрузка высокоминерализованных подземных вод и углеводородных газов. Высокие концентрации сероводорода, достигающие в придонном слое ряда Тарханкутских бухт 102 мг/дм^3 , губительно действуют на гидробионтов за счет снижения концентрации растворенного в воде кислорода, а также за счет нарушения так называемого тканевого дыхания. Периодическая активизация аналогичных очагов, наряду с другими причинами, может являться причиной массовой гибели черноморской мидии и устриц на перспективных для массовой добычи банках Тарханкута. Такие участки акватории заведомо не пригодны для развития марикультуры.

3. Феномен субмаринной разгрузки подземных вод и ее биологические следствия нельзя рассматривать без учета антропогенного влияния на подземные воды, учета изменения количества и состава растворенных веществ, выносимых в море. Если функционирование очагов естественного загрязнения определяется только гидрогеологическими условиями субаквальных территорий, то антропогенное зависит от степени урбанизации побережий, размещения промышленных объектов, свалок, сельскохозяйственных угодий и других факторов. Изучению этой проблемы за рубежом уделяется большое внимание. Региональное обобщение по загрязнению морских вод и донных отложений обширного участка прибрежной зоны Атлантического океана от полуострова Новая Шотландия до Чесапикского залива за десять лет (1976–1987 гг) было выполнено в США. В результате были получены вполне предсказуемые результаты: наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на прибрежную зону крупных городов: Нью-Йорка, Бостона, Провиденса, Балтимора и других, а также на долю эстуариев крупных и средних рек. Специальные работы по изучению выноса нитратов подземными водами и биологическим следствиям разгрузки проводились также в Австралии [Johannes et al., 1985].

Крайне малое внимание отечественных ученых к субмаринной разгрузке загрязненных подземных вод объясняется, вероятно, тем, что в условиях прибрежной зоны такие источники считаются второстепенными. Безусловно, они имеют подчиненное значение по сравнению с поверхностным стоком, канализационными сбросами, аварийными промышленными выбросами и другими мощными очагами

загрязнения. Экологические следствия, обусловленные разгрузкой загрязненных подземных вод, от этого не становятся менее тяжелыми. Правильней было бы рассматривать комплекс причин приводящих к ухудшению экологической обстановки. В частности, рассматривать ухудшение существования бентосных организмов на том или ином участке активной разгрузки, оценивая удельный вес каждого источника загрязнения, а также состав токсикантов и пути их миграции.

Многие специалисты считают, что высокая степень разбавления подземных вод в областях рассредоточенной разгрузки приводит к снижению концентраций токсичных веществ. Однако это вовсе не означает, что они перестают представлять опасность. Большинство бентосных организмов обладают способностью накапливать вредные вещества в количествах, превышающих фоновые их значения в воде в сотни и тысячи раз. По данным Д. Куллини содержание ДДТ в тканях устриц по сравнению с окружающей средой возрастает в 7 тысяч раз [Куллини, 1981]. Проведение специальных экспериментов позволило установить, что содержание в устрицах кадмия и ртути за шесть – семь недель увеличивается в 750–916 раз. Аналогичной способностью обладают мидии, морские гребешки и другие организмы- фильтраторы. Теоретически, концентрации некоторых токсичных веществ могут превышать в мидиях фоновые в 20 тысяч раз [Герлах, 1985]. Указанные выше моллюски представляют собой дорогостоящие морепродукты, употребляемые в пищу человеком. Соответственно они хорошо изучены. Но, кроме них, воздействию токсичных веществ подвергаются и все другие представители бентоса: фитобентос, роющие организмы, полихеты и др., входящие в состав донных биоценозов. Деграция прибрежных донных биоценозов подрывает также кормовую базу многих промысловых рыб. Таким образом, проблема касается всего рыбохозяйственного комплекса Украины, приводя к серьезным экономическим потерям.

Приведенные выше факты подтверждают важную роль морских эколого-геологических и эколого-гидрогеологических исследований. Поведение их особенно актуально для замкнутых морских бассейнов, мелководных морских заливов, бухт и эстуариев. Помимо научного, они имеют и чисто практическое значение. Необходимость проведения исследований экологической направленности подтверждает «Державна програма захисту та відтворення Азовського і Чорного морів» Украины (1997) и международная «Конвенція про захист Чорного моря від забруднення».

ГЛАВА 9. О ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ ШЕЛЬФА

Планомерное изучение гидрогеологии шельфа невозможно выполнять без предварительного геологического картирования. По-видимому, в будущем такое картирование будет столь же обязательным, как и картографирование территории суши. На настоящем этапе изученности, целесообразно выполнение работ масштаба 1:200 000. Соответственно с использованием легенды (условных обозначений), утвержденных для геокартирования того же масштаба на суше [Методические, 1961, 1983, 1987 и др.]. Отметим, что легенды, разработанные для условий суши, не отражают специфики взаимодействия подземных и морских вод. В связи с этим нами предлагается разработка дополнительных условных обозначений к легендам карт масштаба 1:200 000 акватории Черного и Азовских морей (приложение 1).

Дополнительные условные обозначения должны отражать процесс взаимодействия подземных и морских вод. На картах условными значками выделяются:

I группа:

- зоны субмаринной разгрузки перетеканием;
- субмаринные источники;
- зоны дисперсии.

В любом водоносном горизонте важно выделить области (зоны) питания и разгрузки. Зоны субмаринной разгрузки перетеканием имеют сходство с “интервалами выкачивания” в условиях суши, но распространяются на более значительные площади. При таком типе субмаринной разгрузки подземных вод кардинально меняется химический состав и общая минерализация поровых вод, а в некоторых случаях (при интенсивной разгрузке), и придонного слоя. Соответственно, картирование этих зон является обязательным элементом при изучении гидрогеологии шельфа.

При гидрогеологической съемке на суше родники, колодцы и источники картируются как водопункты. Высокодебитные субмарин-

ные источники представляют не меньший практический интерес для водоснабжения прибрежных населенных пунктов и отдельных объектов (санаториев, баз отдыха и др.). Картирование таких водопунктов является обязательной процедурой при гидрогеологической съемке. Помимо стандартных цифровых обозначений номера, величины дебита, минерализации и температуры воды, для субмаринных источников необходима отметка глубины моря, на которой расположен грифон. В пояснительной записке к гидрогеологической карте, должны указываться условия выхода подземных вод и характер аномалий (факел, поверхностная или придонная аномалия).

По существу к областям разгрузки можно отнести и зоны дисперсии. Механизм разгрузки в таких зонах описывается не законом фильтрации, а законами диффузии и осмоса. Зоны дисперсии (зоны смешения подземных и морских вод) под уровнем дна существуют на шельфе практически всех морей, в том числе шельфах Черного и Азовского морей. Площади зон дисперсии и градиенты изменения общей минерализации в порово-пластовых коллекторах являются важными параметрами при моделировании субмариной разгрузки подземных вод. На гидрогеологических картах шельфа эти зоны выделяются в пределах контуров выхода водоносных горизонтов на поверхности шельфа.

II группа.

Вторая группа условных знаков показывает (выход) разгрузку спонтанных газов на прибрежной зоне и на шельфе. В субаэральных условиях они не видны и не отмечаются при маршрутных исследованиях. В субмаринных условиях газовые факелы уверенно фиксируются и визуальны и на сейсмоакустических профилях. На шельфе Черного моря зафиксированы многочисленные выходы отдельных струй, а также значительных площадей интенсивно выделяющегося газа. В большинстве случаев это метан, иногда с примесями тяжелых углеводородов. Последние свидетельствуют о глубинном происхождении газа и приуроченности газовых выходов к тектоническим нарушениям. Положение участков спонтанно выделяющихся газов – важный поисковый признак в нефтегазовой гидрогеологии и подлежит обязательному картированию при гидрогеологической съемке шельфа. К этой же группе следует отнести проявления на шельфе грязевулканической деятельности, поскольку в продуктах выбрасываемых грязевыми вулканами в Азово-Черноморском регионе всегда наблюдается значительное, а иногда и доминирующее содержание горючих газов.

III группа.

Третью группу условных знаков можно назвать информационной. В ней объединяются обозначения, связанные с технологией изучения гидрогеологических особенностей шельфов. В группе обозначений показываются маршруты подводных исследований, геофизических исследований, станции опробования поровых и придонных вод, в том числе комплексного опробования, точки установки фильтрометров, скважины и границы полигонов, в пределах которых производились гидрогеологические исследования. Эту информацию рекомендуется помещать на картах изученности, а также на картах-врезках для участков детальных исследований.

В современных условиях методика работ сводится к построению бумажного варианта карт, с последующей оцифровкой и переводом их в электронную версию, или к построению электронных карт, на основе существующих картографических и фактографических баз данных. Основные требования к построениям следующие:

1. Картографические работы выполняются с помощью комплекса технологий: накопление, хранение, обработка, картосоставление и визуализация современных электронных гидрогеологических материалов осуществляется с использованием современных технических и программных средств. Обработка фактической и картографической информации в Украине осуществляется путем применения Mapinfo и других прикладных программ, которые работают в операционной среде Windows.

Оформление и представление материалов гидрогеологического изучения наряду с традиционными способами в электронном виде решает следующие задачи:

- обеспечение современной формы хранения и использования информации об изученности территории, гидрогеологических условиях, геологическом строении, месторождениях подземных вод, водопунктах, техногенных факторах влияния на гидрогеологические условия и т. п;
- возможность создания постоянно возобновляемой базы геологических данных (БД) как основы для дальнейших исследований и создания гидрогеологической карты нового поколения.

2. Современная электронная форма накопления и обработки материалов масштаба 1:200 000 включает базы геоданных, первичные данные и результаты их переинтерпретации. Такая форма позволяет выполнять обработку факто- и картографической информации, со-

ставлять серии вспомогательных карт и исходную гидрогеологическую карту, вести систематическую часть базы данных и сочетание ее с картографической, подготавливать электронный вариант гидрогеологической карты (табл. 9.1).

На первом этапе, начиная с предпроектного периода, составляется геологическая база первичных данных. Она содержит сведения о геолого-гидрогеологической изученности, геолого-гидрогеологических условиях территории, которые получены методом сбора и систематизации фондовых материалов при выполнении гидрогеологических работ, геолого-геофизических исследований т. д., что является основой для последующих исследований.

Первичная база геологических данных в процессе выполнения работ дополняется новыми материалами. На основе этой базы в результате переинтерпретации и анализа накопленных материалов составляются основные гидрогеологические карты, гидрогеологические разрезы, колонки и комплект вспомогательных карт.

3. Процедура составления гидрогеологических карт в электронном виде включает обязательную поддержку картографических материалов реляционными базами данных. Под термином «реляционные» здесь понимается наличие некоторого количества взаимосвязанных таблиц, часть из которых является атрибутивными, т. е. характеризующими пространственные объекты, а другая дополнительные – семантическими [Долотов и др., 2007].

4. Программное обслуживание, обработка факто- и картографической информации осуществляется с помощью географических информационных систем (ГИС) и современных систем реляционных баз данных. Преимущество ГИС заключается в том, что эта технология обладает большой гибкостью. Она объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос, статистический анализ с полноценной визуализацией и пространственный анализ, которые представляет карта.

В данной технологической схеме аппаратные средства – это компьютеры, на которых запущена ГИС. Программное обеспечение ГИС – это функции и инструменты необходимые для хранения, анализа и визуализации пространственной информации.

Ключевыми составляющими программных продуктов являются инструменты для ввода и операции с информацией, система управления базой данных (ДБMS или СУБД), инструменты поддержки пространственных запросов, анализ и визуализация, графический

Табл. 9.1.

Технологическое взаимодействие ГИС и внешних баз данных при создании карты гидрогеологии масштаба 1: 200 000.

Фактографические данные	Карты разного масштаба	<p>Базы данных Данные о геологическом строении Данные о гидрогеологических условиях Полевые описания геологических и гидрогеологических условиях Гидрогеологическое районирование Данные о гидросети, отметки высот, изогипсы Водосборные бассейны Сведения о водосборных площадях, водопроявлениях и водопунктах Данные режимных наблюдений, Опытно-фильтрационных работ, ведения и др. Данные гидрогеохимических и гидродинамических условий. Данные о фильтрационных параметрах. Интерпретация результатов геофизических исследований</p>
Сканирование		
MapInfo (фактографическая БД (формирование структур БД, введение атрибутивной информации) Карттографическая БД (Регистрация растров, оцифровка объектов)		
Информация баз данных, которая используется при оценочных работах		
Фактографическая БД (редактирование, хранение, доступ, обработка, выведение информации)	Карттографическая БД (создание карт)	<p>Оценочные работы, выполненные на основе созданных БД</p>
Гидрогеологическая карта работ масштаба 1:200 000	карта работ масштаба 1:200 000	<p>Реализация электронных процедур обработки данных, касающихся гидрогеологических условий территории исследований</p>

интерфейс (GUI или ГИП), которые обеспечивают легкий доступ к инструментам.

Данные – это один из важнейших компонентов ГИС. Они могут быть фактографические, возведенные в табличные формы и картографические (в виде комплектов необходимых карт определенных масштабов).

Методы. Эффективность использования ГИС зависит от верно составленного плана и требований, которые создаются соответственно заданиям и направлениям работ.

Информация ГИС хранится в виде тематических слоев, которые объединяются на основе географического положения. Характерно, что ГИС может иметь дело с двумя существенно отличающимися типами данных – векторными и растровыми. В векторной модели информация относительно точек, линий и полигонов кодируется и сохраняется в виде определенного подбора координат (X, Y). Векторная модель предназначена для описания дискретных объектов, а растровая модель оптимальна для работы с непрерывными свойствами.

Общие задачи, которые решает ГИС, объединяют пять процедур с данными: ввод, манипулирование, управление, запрос, анализ и визуализация. При этом следует отметить, что ГИС имеет точные связи.

Процесс составления карт в ГИС значительно более простой и гибкий чем в традиционных методах ручного, автоматического картирования. Основой его являются базы данных. В виде источника информации можно использовать и оцифрованные бумажные карты. Базы данных ГИС должны постоянно пополняться, как фактографическими, так и картографическими, данными, а также корректироваться при получении новой информации.

В большинстве ГИС реализуются своевременные системы управления базами данных (СУБД). Это правило существует до превышения общим объемом данных баз определенной величины, после чего необходимо переходить на специальные системы («ORACLE», «INFORMIX»), которые имеют непосредственную связь с ГИС.

Во время создания цифровых карт необходимо сохранять принципы технологий ГИС:

- однократной оцифровки объектов;
- направленной оцифровки – все линейные объекты, которые имеют несимметричную продольную нагрузку, должны оцифровываться таким образом, чтобы при векторизации и проведении линии элементы дополнительной нагрузки оставались справа;

- объекты – точки должны иметь координаты;
- полигональные объекты не должны пересекаться.

5. Информационное обеспечение работ по созданию баз геологических данных соответственно состоит из:

- базы картографических данных – совокупности пространственного размещения географических объектов, разбитых определенным образом по выбранным информационным слоям;
- атрибутивной базы – количественной и качественной характеристики пространственных объектов в числовом или символьном (текстовом) виде, которые содержатся в атрибутивных таблицах, где каждой строке (записи) отвечает пространственный объект, атрибуты которого расположены в столбцах (полях);
- ГИС-средств (технические средства и программы MapInfo, которые предоставляют возможность реализовать процедуры анализа, превращения и синтеза данных при решении конкретных задач);
- базы геоданных – совокупности картографической и атрибутивной баз.

6. Содержание гидрогеологической цифровой модели должно быть адекватным реальным условиям гидрогеологии территории листа. Комплект материалов предоставления электронного листа гидрогеологической карты содержит:

- модель электронной карты гидрогеологических условий территории;
- электронное представление легенды;
- электронное представление гидрогеологической колонки;
- электронное представление разрезов;
- банк первичной информации.

7. Карты, легенды, гидрогеологические колонки и т. п. выполняются с помощью стандартных палитр символов ГИС (в данном случае палитр символов MapInfo). При их отсутствии создаются новые палитры или символы с помощью специализированных программ.

8. Предоставленный материал должен без привлечения дополнительных данных в традиционной форме обеспечить:

- создание электронных карт;
- издание электронной карты соответствующего номенклатурного листа;
- включение результатов в существующие банки геоданных, в т. ч. Государственного Водного Кадастра.

9. При создании компьютерного варианта гидрогеологической карты в программе MapInfo необходимо придерживаться следующих принципов – выполнять объединение геолого-картографических объектов в содержательные слои, каждый из которых несет информацию об отдельном аспекте гидрогеологических условий территории, которая картографируется.

Количество разделов легенды электронной модели карты может превышать количество разделов в ее бумажном варианте. Необходимо учитывать возможность размещения информации в два или более слоев (например, водоупорные породы и тому подобное).

В общем виде к информационным слоям гидрогеологической карты масштаба 1 : 200 000 относятся:

- первые от поверхности водоносные горизонты и комплексы;
- водоносные горизонты и комплексы, которые залегают ниже первых от поверхности;
- водопроницаемые, но неводоносные (*сдренированные*) отложения, которые залегают выше первых от поверхности водоносных горизонтов и комплексов;
- водоупорные породы;
- гидрогеодинамические показатели (гидроизогипсы или гидроизопьезы первого от поверхности основного водоносного подразделения, депрессионные воронки);
- гидрогеологическое районирование;
- зоны и участки повышенной тектонической активности, трещиноватости (элементы геологической карты);
- приморские мелиоративные системы.

Информационные слои дополняются атрибутивными, которые содержат дополнительную информацию о количественных и качественных показателях.

10. Комплекс электронных технологий построения гидрогеологических карт должен обеспечивать возможность реализации электронных процедур обработки данных для правильного понимания гидрогеологических условий региона.

ЧАСТЬ II.

МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА

Гидрогеологическое изучение шельфа осуществляется с помощью различных современных методов, позволяющих исследовать гидрогеологические условия дна моря. При этом главное внимание уделяется методам изучения масштабов и форм субмаринной разгрузки подземных вод и количественной оценке процессов разгрузки.

Все методы гидрогеологического изучения шельфа можно разделить на две большие группы:

1. Расчетно-аналитические методы.
2. Методы прямых исследований.

Методы, входящие в первую группу предназначаются для оценки подземного стока в морские акватории с использованием гидрогеологических параметров полученных на суше. Они пригодны для тех артезианских бассейнов и гидрогеологических структур, часть которых, включая область питания, расположены на суше, а часть погружена под уровень моря. Эта группа включает в себя метод среднелетнего водного баланса, гидрогеодинамический метод, метод аналогий и некоторые другие расчетно-аналитические методы.

Исходными данными для расчетно-аналитических методов первой группы служат многолетние режимные наблюдения за уровнями и расходами подземных вод по скважинам, колодцам, источникам расположенным на суше. Как правило, используются материалы наблюдений режимных гидрогеологических партий Департамента геологии, а также других ведомств, например, гидромелиоративные наблюдения. Для балансовых методов необходимы гидрометеорологические данные по среднелетним значениям расходов рек, осадкам, испарению и др. Гидрометеорологические данные имеются в ежегодниках и кадастрах Гидрометеослужбы.

Вторая группа методов включает в себя комплекс морских гидрогеологических исследований выполняемых непосредственно в морских акваториях. Состав комплекса целесообразно разделить на две части: методы изучения прибрежной зоны и методы изучения глубоководной части шельфа. Исходные данные получают в период выполнения полевых работ.

ГЛАВА 10. РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

10.1. Метод среднемноголетнего водного баланса

В простейшем варианте для областей питания водоносного горизонта уравнение водного баланса можно представить в виде:

$$\bar{Y}_n = \bar{X} - (\bar{Z} + \bar{Y}_p) \quad (10.1)$$

где \bar{Y}_n – среднемноголетнее питание (сток) водоносного горизонта, \bar{X} – среднемноголетние осадки; \bar{Z} – среднемноголетнее испарение; \bar{Y}_p – среднемноголетний речной сток.

Уравнение (10.1) сколь угодно полно детализируется, как в приходной, так и в расходной частях. Например, к осадкам можно добавить величину конденсации ($\bar{X} + \bar{X}_k$), испарение представить как

$$\bar{Z} = \bar{Z}_n + \bar{Z}_c + \bar{Z}_m + \bar{Z}_v,$$

где \bar{Z}_n – испарение с почвы; \bar{Z}_c – испарение со снежного покрова; \bar{Z}_m – транспирация; \bar{Z}_v – испарение с водной поверхности и т. д.

Сложность натурального определения отдельных составляющих баланса, тем более среднемноголетних величин, заставляет упрощать уравнения, зачастую сводя его к виду (10.1). При любом способе написания и решения уравнения водного баланса, среднемноголетнее питание автоматически включает в себя алгебраическую сумму погрешностей определения других его членов. Кроме того, остаются неизвестными величины потерь или пополнения подземного стока при гидравлической связи с другими водоносными горизонтами. В результате, при всех прочих достоинствах, метод среднемноголетнего водного баланса следует считать строго приближенным.

10.2. Гидрогеодинамический метод

10.2.1. Геологические и гидрогеологические условия

Гидрогеодинамический метод разработан для оценки величины субмаринной разгрузки подземных вод перетеканием. Субмаринная разгрузка перетеканием – наиболее распространенный вид дренирования подземных вод морскими впадинами. Процессы перетекания в большинстве случаев определяют динамику подземных вод семи-маринных артезианских бассейнов в целом, или отдельных крупных его частей. При этом общим для всех видов субмаринной разгрузки является существенная разность пьезометрических напоров между областью питания и морским дном. То есть, в прибрежной полосе артезианских структур развиты водоносные системы с прямым соотношением гидростатических и динамических напоров.

На рисунке 10.1 показаны условия субмаринной разгрузки перетеканием грунтового и напорного водоносных горизонтов, залегающих на горизонтальных водоупорах. В случае наклонных водоупоров, принципиальная схема (за исключением правильного выбора плоскости сравнения 0–0) и механизм субмаринной разгрузки не меняется.

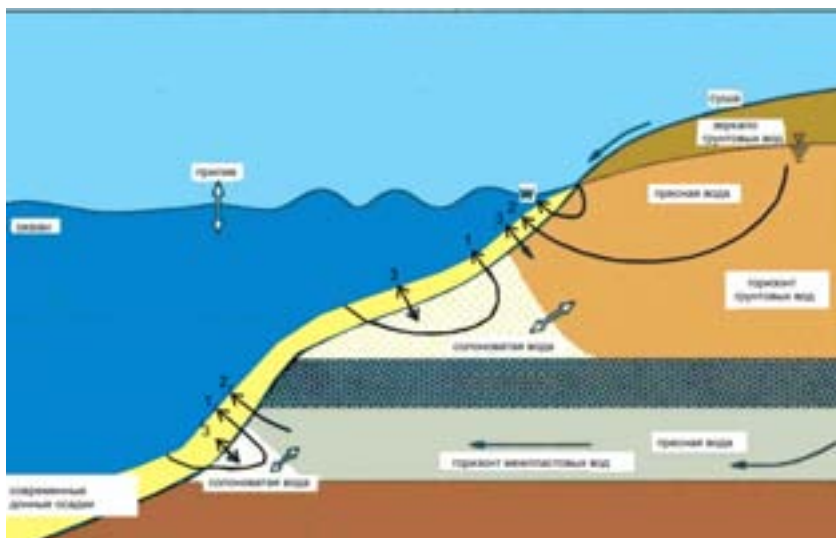


Рис. 10.1 Схематическое изображение процессов субмаринной разгрузки подземных вод с дополнениями и изменениями автора [Quantifying, 2006]. Стрелками показано направление движения подземных вод.

10.2.2. Расчетная схема гидрогеодинамического метода

Гидрогеодинамический метод базируется на анализе распределения пьезометрических напоров в изучаемом водоносном горизонте. Практическое использование его осуществляется рядом последовательных операций.

1. На основе рассмотрения геолого-структурных и гидрогеологических условий приморской части артезианских бассейнов выделяются водоносные горизонты (комплексы), сток которых направлен непосредственно в море, минуя речную сеть.
2. По выделенным горизонтам строятся карты уровенной поверхности и водопроницаемости, отражающие общие закономерности субмаринного подземного стока.
3. Общий субмаринный сток определяется по уравнению Дарси. Расход подземного потока в пределах отдельных линий тока определяется индивидуально, с учетом всех основных исходных гидрогеологических параметров.

В результате такого подхода удастся избежать грубого осреднения гидрогеологических параметров на значительных территориях, а наоборот, детализировать их для каждого расчетного участка и каждой линии тока. В настоящее время гидрогеодинамический метод является основным для оценки субмаринного подземного стока.

Закономерности распределения подземного стока в пределах прибрежной зоны и шельфа определяются следующим образом [Джамалов и др., 1976, Зекцер и др., 1984]:

1. Используя построенные карты распределения напоров на суше, для каждого водоносного горизонта выбираются пьезометрические профили по нескольким линиям тока;
2. Основой для их выбора является наличие ряда скважин, имеющих многолетние режимные наблюдения;
3. Построенные на суше профили продлеваются методом аппроксимации в пределы акватории моря. Для их достоверного продолжения каждому профилю требуется найти функцию $y = f(x)$, описывающую их с достаточной точностью.

Аппроксимация кривых может проводиться по стандартным компьютерным программам, например, с помощью метода наименьших квадратов, с помощью подбора и других математических решений. При строгом подходе аппроксимация не должна превышать 10 % кривой функциональной зависимости, что накладывает некоторые

ограничения на использование метода. Кроме того, существует ряд требований к самой зависимости, приведенные ниже.

Аппроксимирующую зависимость следует выбирать таким образом, чтобы ее график отвечал ряду условий:

1. Как можно меньше реагировал на случайные погрешности наблюдений.
2. С достаточной точностью определял закономерность изучаемого явления внутри диапазона изменения значений (x).
3. График должен сохранять выявленную закономерность внутри фактического диапазона изменения (x) и за его пределами.

Последнее условие необходимо для уверенной экстраполяции графика. Очевидно, что наиболее подходящими для экстраполяции будут те зависимости, графики которых представлены гладкими кривыми, не имеющими разрывов и резких скачков. Сопоставление кривых с фактическими данными проводится с помощью статистических параметров – коэффициента корреляции, среднего квадратического отклонения и др.

С помощью аппроксимирующих уравнений пьезометрические профили продлеваются в пределы акватории до любой заданной отметки. Этот способ позволяет построить достаточно обоснованную карту пьезометрической поверхности водоносного горизонта на шельфе и выделить область субмаринной разгрузки подземных вод инфильтрационного типа (разгрузка перетеканием). При этом процедура выделения областей разгрузки должна тесно увязываться с геолого-структурными особенностями рассматриваемых территорий.

Практика построения пьезометрических кривых для различных внутренних морей показывает, что обычно они описываются достаточно простыми математическими выражениями. Например, логарифмическими или экспоненциальными [Зекцер и др., 1984]:

$$y = a + b \ln [1/(1 + c)], \quad (10.2)$$

$$y = [\exp(ax)] \cdot b,$$

где a , b , c – численные коэффициенты, определяемые по стандартной программе на ЭВМ для каждой пьезометрической кривой отдельно.

При плавном падении напоров от области питания к области разгрузки зависимость $y = f(x)$ чаще всего выражается экспонентой.

Достоверность оценки величины подземного стока в моря гидрогеодинамическим методом прямо пропорциональна степени изучен-

ности водоносного горизонта на суше: представительности сети наблюдательных скважин, длительности непрерывных рядов режимных наблюдений за уровнями (пьезометрическими напорами), частоте наблюдений и др.

10.2.3. Уточнение параметров по методу Н.А. Огильви

Имея достоверные данные по региональным условиям фильтрации подземных вод на суше, распределению по площади исследований значений напора и водопроницаемости, горизонтальную и вертикальную составляющую подземного стока при разгрузке перетеканием можно рассчитать по методу Н. А. Огильви [Огильви и др., 1972]. Суть метода также изложена в работе [Зекцер и др., 1984]. Из-за сложности математического аппарата и трудностей получения ряда параметров метод Огильви на практике сложно использовать. Поэтому, рассмотрим только общие его положения. Для решения задачи предлагается три способа.

1. С помощью решения системы дифференциальных уравнений в частных производных с определенными граничными условиями. Решение предусмотрено для наиболее сложного случая – этажного расположения водоносных горизонтов, с питанием и разгрузкой через верхнюю, нижнюю и боковую границы расчетной водоносной системы. В такой сложно построенной системе важное значение имеют коэффициенты перетекания через разделяющие горизонты глинистые слои. Численное определение этих коэффициентов практически невозможно или чрезвычайно затруднено. Поэтому способ можно отнести к чисто теоретическим построениям.
2. Методом конечных разностей. Расчетная область фильтрации разбивается на прямоугольные блоки в виде сетки, а исходные параметры задаются в узлах. Далее система записывается в матричном виде с векторами n -мерной размерности и сводится к довольно простому виду алгебраических уравнений. Решение уравнений выполняется с помощью компьютерных технологий. Ограничения в применении этого решения относятся к областям неравномерной фильтрации, в частности, к коллекторам, представленным карстующимися породами.
3. Методом конечных элементов. При этом способе разбивка областей фильтрации осуществляется в виде произвольных треугольников, а расчетные узлы совпадают с их вершинами. Решение задачи реализуется по такому же алгоритму, как и в методе конеч-

ных разностей. Применение метода ограничено степенью изученности прибрежных территорий и достоверностью исходных гидрогеологических параметров.

В ряду других методов оценки величины субмаринной разгрузки перетеканием гидродинамический метод можно считать наиболее теоретически обоснованным. К основным его недостаткам следует отнести уже упоминавшуюся громоздкость математического аппарата в вариантах расчетов, предложенных Н. А. Огильви.

10.3. Метод аналогий

В авторском названии метод называется «комплексным гидролого-гидрогеологическим» предназначенный для региональных оценок подземного стока [Зекцер и др., 1984]. В начале, для всего исследуемого региона морского бассейна проводится генетическое расчленение гидрографов речного стока за многолетний период, и определяются среднемноголетние значения модуля подземного стока для основных водоносных горизонтов (известный метод Б. И. Куделина). Затем, используя метод аналогий, полученные значения модулей распространяют на сходные по гидрогеологическим условиям участки приморских территорий, сток с которых направлен непосредственно в море, минуя речную сеть. Путем умножения модуля подземного стока на соответствующие приморские площади рассчитывают сток подземных вод в море из зоны интенсивного водообмена. Как известно, к зоне интенсивного водообмена относятся, прежде всего, грунтовые воды и неглубоко залегающие, хорошо дренируемые водоносные горизонты. Следовательно, метод позволяет оценивать только часть подземного стока в море. Сам же метод применим только для бассейнов с хорошо развитой речной сетью, а также полной аналогией гидрогеологических условий.

Сами авторы отмечают условность и невысокую точность таких оценок. Поэтому, предлагают его использование в сочетании с другими методами, например водного баланса или гидрогеодинамическим, т. е. комплексирование. Метод аналогий может быть использован для сугубо приближенных оценок.

ГЛАВА 11. ДИСТАНЦИОННЫЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА

11.1. Дистанционные методы

Использование дистанционных методов весьма перспективно для изучения и картирования подземных вод в прибрежной зоне морей. К таким методам, прежде всего, относятся многоспектральная и инфракрасная съемки, выполняемые с космических аппаратов и самолетов.

Многоспектральные съемки, проводящиеся с космических аппаратов, выполняются с использованием высокочувствительной аппаратуры, регистрирующей электромагнитные излучения земной и водной поверхностей. Применение различных светофильтров позволяет получить необходимый цветовой контраст. На первом искусственном спутнике США «Landsat – 1», запущенном с целью изучения природных ресурсов Земли, было установлено многоспектральное сканирующее оборудование для регистрации электромагнитных излучений в четырех диапазонах волн: зеленом (0,5–0,6 мкм), красном (0,6–0,7 мкм) и двух ближних инфракрасных (0,7–0,8 и 0,8–1,1 мкм) [EROS, 1974]. Многоспектральные съемки упомянутого спутника использовались Геологической службой США для изучения субмаринных источников у островов Ямайка и Сицилия, Гавайского архипелага и у побережья полуострова Флорида.

Съемки в инфракрасном диапазоне основаны на измерении интенсивности теплового излучения различных природных поверхностей, в том числе поверхности моря. Современные инфракрасные радиометры фиксируют температуру поверхностей с точностью до 0,01 °С. Инфракрасная съемка эффективна для обнаружения очагов разгрузки подземных вод, так как температуры разгружающихся вод и морской воды, как правило, не одинаковы. При-

менение инфракрасной съемки в 2001–2002 годах, проводившейся со спутников «Landsat 7» и «Aster» (14 инфракрасный канал), спутника «NOAA» и др., дало возможность обнаружить ранее неизвестные субмаринные источники в одном километре от юго-восточного побережья о. Сицилия.

Спектрональные и тепловые съемки могут проводиться с использованием самолетов. Наблюдения в инфракрасном диапазоне в таком случае ведутся с помощью тепловизоров Тепло М (Россия), АГА (Швеция) и многих других более современных моделей. Иногда дистанционные наблюдения выполняются в комплексе: аэроразведка методом отраженных волн и спутниковая инфракрасная съемка. Такой подход позволил обнаружить девять очагов субаквальной разгрузки подземных вод на дне соленого озера Биг Кулл в провинции Саскачеван (Канада).

Методы инфракрасной съемки, применяемые для обнаружения и картирования очагов субмаринной разгрузки в акваториях морей, к сожалению, имеют объективные ограничения. С их помощью обнаруживаются только те температурные аномалии, в которых разгружающиеся подземные воды достигают морской поверхности. Таковыми, в большинстве известных случаев, являются концентрированные выходы в прибрежной зоне при глубине моря не более 10–15 метров и удалении от уреза до 200 метров. Кроме того, при дешифрировании снимков следует четко разделять поверхностные температурные аномалии по генезису. Помимо аномалий генерируемых разгрузкой подземных вод, часто встречаются аномалии, вызванные апвеллингом, речными струями, сбросными сооружениями, сгонно-нагонными явлениями и др. Пример анализа развития аномальной по температуре зоны субмаринной разгрузки на фоне сгона приведен в работе [Иванов и др., 2008]. В данном случае анализировались карты температуры поверхности Черного моря, полученные со спутника NOAA-17 в 2007 году. В заключение отметим: проводя дешифрирование снимков, предварительно следует изучить всю имеющуюся информацию о геологическом строении участка побережья и его гидрогеологических условий.

Практические рекомендации по обнаружению очагов субмаринной разгрузки дистанционными методами сводятся к следующему.

1. В зеленом диапазоне многоспектральных спутниковых съемок морская вода прозрачна. На космических снимках отображается рельеф дна, мутность и поля инородных примесей. Крупные субмаринные источники, обычно содержащие взвешенные ча-

стицы и пузырьки воздуха, обнаруживаются по локальным образованиям, имеющим овальную форму. Для дешифрирования пригодны снимки, сделанные в период длительного штиля, в течение которого большая часть взвесей другого происхождения осаждается на дно.

2. Анализ космоснимков в инфракрасных диапазонах целесообразно проводить для периода наибольших температурных контрастов и длительных штилей. Таким периодом является вторая половина лета и начало осени, когда морская вода наиболее прогрета, а воды субмаринных источников холоднее её на 10 и более градусов. Такие локальные поверхностные температурные аномалии на снимках отличаются высоким контрастом (светлые пятна на темном фоне) и чаще всего имеют конфигурацию шлейфов, овалов и кругов.
3. Дешифрирование космоснимков рекомендуется проводить в комплексе, используя зеленый и инфракрасный диапазоны съемок.
4. При дешифрировании снимков следует учитывать особенности погодных условий (направление ветра, вдольбереговых течений, волнение). Данные о погодных условиях берутся по ближайшим гидрометеорологическим постам.
5. Результаты дешифрирования подлежат обязательной заверке прямыми измерениями температуры и солености морской воды, с привязкой этих измерений приборами GPS.

Отдельного внимания заслуживают способы дистанционного измерения солености морской воды. Один из них основан на интенсивности отражения солнечного света от поверхности моря. Способ измерения и аппаратура для аэро- и космических аппаратов запатентованы в США [United, 1977]. В Украине этот способ не использовался, однако приведенная информация о существовании этого способа может оказаться полезной при дальнейших исследованиях.

11.2. Геофизические методы

В настоящее время морская геофизика использует практически все геофизические методы, применяемые в условиях суши. Спецификой условий их применения является наличие водного слоя между детекторами или источниками геофизических полей и объектом исследований. Определенные требования предъявляются к эксплуатационным характеристикам аппаратуры в морских условиях (повышенная влажность, диапазон изменения температуры, вибрация

и др.), а также к типу судов [Комплексирование..., 1987]. Перечисление методов можно представить в следующей последовательности:

1. Сейсморазведочные методы: глубинного зондирования, отраженных и преломленных волн.
2. Сейсмоакустическое профилирование.
3. Гравиметрические съемки.
4. Гидромагнитные съемки.
5. Электроразведка (метод непрерывного дипольного зондирования и профилирования и др.).
6. Радиометрические съемки.
7. Термосъемки.

Использование геофизических методов при гидрогеологическом изучении шельфа в масштабе 1:200 000 представляется аналогичным вариантом среднемасштабной гидрогеологической съемки на суше. В этом случае с помощью геофизических методов решаются следующие задачи [Комплексирование..., 1987]:

1. Определение глубины залегания основных маркирующих горизонтов.
2. Изучение литологического состава пород.
3. Выявление складчатых структур и разрывных нарушений.
4. Расчленение разреза на водовмещающие и водоупорные комплексы с качественной (сравнительной) оценкой коллекторских и фильтрационных свойств.
5. Прослеживание этих комплексов в пределах исследуемых площадей.
6. Обнаружение гидрогеологических «окоп».
7. Оконтуривание площадей питания и разгрузки подземных вод.
8. Выявление интенсивности гидрогеологической связи между водоносными горизонтами.
9. Оконтуривание площадей с пресными водами и водами повышенной минерализации и некоторые другие.

Как и на суше, для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач с целью повышения информативности геофизических исследований геофизические методы принято комплексировать. Исходя из поставленных выше задач, комплекс геофизических методов должен включать: сейсморазведку, сейсмоакустическое профилирование, магниторазведку, метод вертикальных электрических

зондирований, электропрофилирование. Этот комплекс может дополняться методами γ -спектрометрии и эманационными съемками [Методические..., 1967]. Более подробно методические вопросы комплексирования рассмотрены в работе [Комплексирование..., 1987]. Приведем краткое рассмотрение этих вопросов в свете гидрогеологических исследований и съемочных работ в морских акваториях.

Сейсморазведка и сейсмоакустическое профилирование

Сейсморазведка и сейсмоакустическое профилирование применяются для решения следующих задач:

- изучение глубинного строения земной коры и выделение разрывных тектонических нарушений;
- исследование приповерхностной (придонной) части геологического разреза с определением мощности рыхлых донных отложений и картирование рельефа коренных пород;
- выявление зон повышенной трещиноватости и пустот;
- выявление газовых и водных факелов (субмаринные источники).

Из всего многообразия сейсморазведочных методов в морской геофизике чаще всего используется МОГТ и реже КМПВ. Выполнение и интерпретация результатов этих видов геофизических работ проводится аналогично проводимым на суше. Обработка и интерпретация сейсмограмм выполняется специалистами-геофизиками по специальным компьютерным программам, после чего результаты выдаются заказчику для структурно-геологической интерпретации.

Единственный метод, которым обогатилась в последнее время морская разведочная геофизика – метод непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП). Подробно теория сейсмоакустических исследований, требования к техническим средствам и принципы интерпретации сейсмоакустических данных изложены в работах [Калинин и др., 1983, Гончар и др., 2002,].

Изучение гидравлической связи поверхностных (морских) и подземных вод требует детального расчленения верхней части разреза донных осадков. Таковую возможность дает метод НСП, позволяющий решать следующие задачи:

- выделение сейсмоакустических комплексов и более дробных подразделений вплоть до сейсмофаций в четвертичных отложениях и осадочных покровных образованиях с целью их расчленения и прослеживания по простиранию с применением принципов сейсмостратиграфии;

- определение структуры покрова осадочных образований, их мощности, характера залегания и взаимоотношений в разрезе, текстурных признаков, морфологии ограничивающих поверхностей;
- качественная оценка состава и рельефа кровли складчатого фундамента;
- построение трехмерной сейсмогеологической модели площади картирования, предпосылок возникновения геоэкологических аномалий.

Метод НСП применяется, как правило, в трех частотных модификациях:

- 1 – низкочастотный (частота излучения 20–100 гц), для изучения строения геологического разреза до 2 км с разрешающей способностью от нескольких десятков до 100 м;
- 2 – высокочастотный (частота излучения 200–800 гц), охватывающий геологический разрез мощностью 200–300 м с разрешающей способностью 5–10 м;
- 3 – ультра-высокочастотный, называемый также геолокацией (частота излучения выше 1000 гц), для изучения геологических разрезов до 20–30 м с разрешающей способностью 1–2 м и детальнее.

В стандартный комплекс гидрогеологического изучения шельфа рекомендуется включать высокочастотную и ультра-высокочастотную модификацию НСАП.

Сейсмоакустическое профилирование следует считать обязательным видом работ при гидрогеологическом картировании шельфа любого масштаба. На сейсмограммах НСАП выделяются газонасыщенные слои донных отложений, газовые факелы и водные факелы субмаринных источников (**рис. 11.1**).

Выделение участков дна с газонасыщенными илами происходит по фиксации аномально низких скоростей, до 140–300 м/с, аномально высокого поглощения и по высоким значениям коэффициента отражения $K_0 = -(0,7-0,9)$. Распространение их в плане отличается хаотичностью. Задача сейсмоакустических исследований состоит не только в картировании зон распространения низкоскоростных отложений на изучаемой акватории, но и (если работы МОГТ были уже проведены) в определении их «временной мощности» для введения поправок в данные МОГТ [Калинин и др., 1983].

С помощью метода НСАП решаются и другие задачи: обнаружение погребенных русел палеорек, пространственное положение водоупоров. Сейсмоакустические исследования эффективны также для ре-

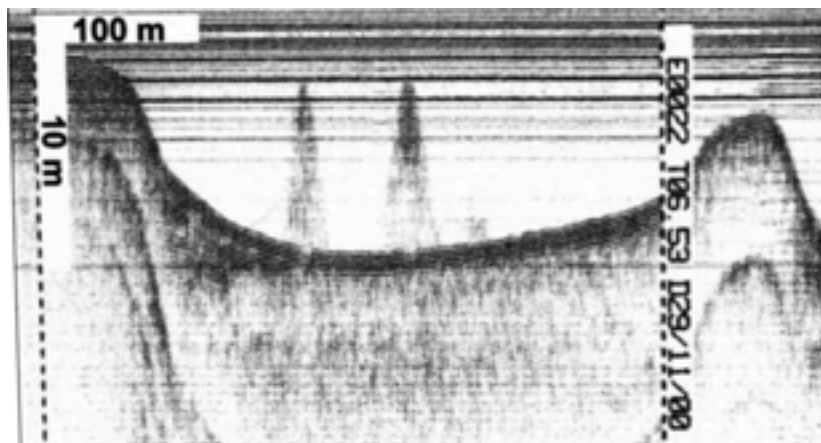


Рис. 11.1. Сейсмоакустический профиль НСАП в лагуне г. Перт (Австралия) с факелами субмаринных источников [Quantifying, 2006]

шения инженерно-геологических задач по устойчивости подводных склонов, проведению берегоукрепительных работ и др.

Морская геотермосъемка

Морскую геотермосъемку можно рассматривать как самостоятельный вид геофизических исследований. Геотермические наблюдения в морских акваториях выполняются способом регионального профильного геотермического зондирования по поверхности донных отложений с помощью геотермического волочка, точечным профильным зондированием в придонных осадках до глубины 1,5 м, а также определением теплофизических параметров в структурно-поисковых скважинах [Осадчий и др., 1979].

В придонных слоях осадков колебания температуры затухают по экспоненциальному закону. Поэтому, за счет влияния суточных температурных колебаний морской воды температура морских осадков на глубине 1 м изменяется максимум на 0,002 °С. Такая величина обычно находится за пределами точности измерений стандартной аппаратуры. Авторы работы [Осадчий и др., 1979] считают, что при глубине моря в несколько десятков метров суточная температурная волна не превышает 1 °С. В прибрежной зоне уже через несколько дней после шторма, вызывающего перемешивание слоев воды и выравнивание температуры воды по всей толще, на расстоянии 10–30 см от дна глубинная температурная аномалия составля-

ет 0,5–1,0 °С. При таких условиях возможны три варианта проведения геотермических работ.

1. Измерение температуры на глубине 1–1,5 м в придонном слое морских осадков.
2. Измерение температуры в придонном слое воды (на границе вода – грунт) путем прохождения геотермического профиля не более чем за 1–2 часа.
3. Измерение температуры термоволочком в течение произвольного промежутка времени с выставленным на исследуемой глубине привязочным датчиком температуры (репером).

В лаборатории геотермии нефтегазоносных областей ИГ и ГГИ Академии наук Украины к концу семидесятых годов была разработана универсальная геотермическая аппаратура, позволяющая определять температуру непосредственно в морских осадках с точностью до 0,01 °С. Одновременно аппаратура позволяет определять геотермические градиенты и комплекс теплофизических параметров донных осадков – теплопроводность, температуропроводность и теплоемкость. В качестве датчиков температуры могут использоваться: – термисторы сопротивления (КМТ–4, ММТ–4); – термопары; – пьезокварцевые резонаторы. На основе этих датчиков в Украине и за рубежом было создано не менее 14 моделей градиентографов с различными техническими характеристиками. Отечественные градиентографы Г–1 М, Г–2 М сконструированы с расчетом внедрения в рыхлые осадки на глубину до 1,5 м под собственным весом с утяжелителем. Пьезокварцевые датчики позволяют измерять температуру с точностью 0,01 °С (чувствительность 0,005 °С). Такой же чувствительностью обладают датчики термоволочков.

Температурные аномалии в придонных слоях осадков имеют разную природу и разные знаки. Положительные локальные температурные аномалии наблюдаются в подводных грязевых вулканах. В Азовском море в зоне развития грязевого вулкана зафиксирована аномалия с превышением температуры над фоном в 7,4 °С [Артеменко, 1974]. Положительные температурные аномалии присутствуют в зонах крупных разрывных тектонических нарушений над залежами углеводородов, в основном, за счет процессов сульфатредукции. Они также наблюдаются в зонах разгрузки глубинных флюидов. Согласно расчетам, вертикальная миграция подземных вод по трещиноватым породам с глубины 3500 м к поверхности при снижении давления на $1 \cdot 10^8$ Па сопровождается повышением

ем температуры на 20 °С [Осадчий и др., 1979]. Отрицательные аномалии наблюдаются в зонах субмаринной разгрузки перетеканием грунтовых и межпластовых вод. Такие аномалии наиболее контрастны в летний период в прибрежной зоне, когда морская вода хорошо прогрета. Локальные температурные аномалии наблюдаются в очагах разгрузки и субмаринных источниках.

Методика проведения геотермосъемок выделяет три этапа их проведения. Рекогносцировочный (метод термоволочка) дает общую геотермическую характеристику крупных участков морского дна, где выделяются зоны геотермических аномалий как региональных, так и локальных. Региональный (метод градиентометра) позволяет оконтурить региональные аномалии и выяснить их природу, уточнить размеры локальных аномалий, связанных с поднятиями. Детальный (метод градиентометра и прибора Ч–2 М) проводится для всестороннего геотермического изучения локальных аномалий.

Согласно рекомендациям [Осадчий и др., 1979], выполнение первого этапа начинается с прокладки профилей на навигационной карте. Направление профилей ориентируется по нормали к береговой линии с интервалом 2 км в масштабе исследований 1: 200 000. Через каждый километр на профиле намечаются точки стоянок для привязки температурных замеров, так как наблюдается отставание замера от точки наблюдений за счет инерционности термодатчика. Во время стоянки определяется глубина моря и выполняется температурное зондирование водной толщи с помощью термометра. По замерам определяется глубина термоклина. Показания термодатчика и термометра в придонном слое сравниваются и при расхождении вносятся поправка. При движении судна по профилю ведется непрерывная запись температуры, причем оператор может задавать время отсчета температур в интервале от 5 секунд до 1 часа. Рекомендуемое оптимальное время регистрации 30 секунд. В контрольных точках термоволочек выдерживается до стабильных значений температуры. Запоздывание регистрации по сравнению с замерами составляет 50–70 м (при скорости движения судна 2,5–3 узла).

После проведения первого (предварительного) этапа результаты измерений наносятся на батиметрическую карту. Данные анализируются и увязываются с геолого-геофизическими материалами по району исследований. Выделяются площади для проведения детальных работ.

Второй этап предусматривает изучение региональных и локальных температурных аномалий методом профильного зондирования. Первый профиль закладывается как повторение профиля термово-

лочка. Затем площадь аномалии разбивается на геотермические квадраты. Частота замеров корректируется замерами на первых 2–3 профилях, пройденных параллельно первому. Протяженность профилей контролируется выходом на фоновые значения температуры.

Измерения на втором этапе выполняются с помощью градиентометра с вибратором. Градиентометр опускают в заданной точке профиля с помощью лебедки. Глубина замера температуры в донных осадках строго фиксирована и составляет 1,5 м. Перед каждым спуском градиентометра замеряется температура водной толщи для определения положения термоклина и температуры на поверхности дна. Опыт работы показывает, что время стоянки судна для проведения замеров составляет 10–15 мин.

Детальная геотермическая съемка (3 этап) проводится методом геотермического зондирования по сетке: расстояние между профилями составляет 1 км, а между точками 200 м. Исследования проводятся одновременно градиентометром и прибором Ч–2 М, позволяющим получать информацию о термофизических параметрах донных осадков (геотермическом градиенте и тепловом потоке) на глубине 1,5 м.

В качестве примера приведем результаты геотермических исследований в Черном море. На **рис. 11.2** показана карта геоизотерм, полученная при помощи термоволочка на акватории Одесского залива.

Возмущения температурного поля в районе работ имеют линейный характер со строгой субширотной ориентацией аномалий. На площади съемки прослеживаются три системы разноориентированных тектонических нарушений: 1 – система широтных региональных нарушений; 2 – система меридиональных нарушений; 3 – система нарушений юго-западного простирания. Подробная интерпретация результатов термосъемки, в том числе флексуорообразный характер флуктуаций приводятся авторами работы [Осадчий и др., 1979].

Метод морской геотермосъемки отвечает всем требованиям, предъявляемым к поисковым методам, производителен и достаточно информативен. Проведение морской геотермосъемки на всех ее этапах рекомендуется в комплексе с другими прямыми геолого-геофизическими и геохимическими методами исследований. При прохождении профилей целесообразно выполнять сейсмоакустические измерения, а на стоянках отбирать пробы грунта и придонных вод.

Электроразведочные методы

Электроразведочные методы применяются для решения различных гидрогеологических задач на суше, в том числе для изучения

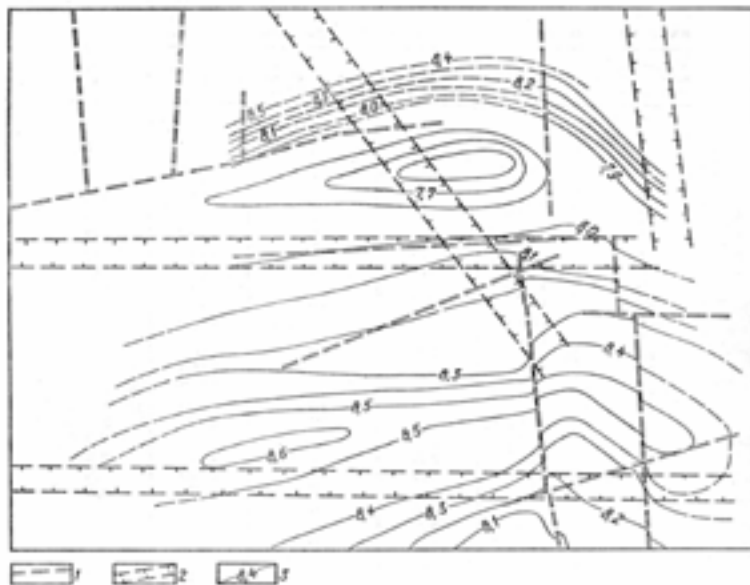


Рис. 11.2. Карта геоизотерм по поверхности дна Одесского залива [Осадчий и др., 1979].

1 – предполагаемые тектонические нарушения; 2 – трассы региональных разломов; 3 – геоизотермы по поверхности дна.

геологического разреза с выделением водоупоров, контактов коренных пород и рыхлых современных осадков, границ между пресными и солеными водами. Для этого используются разные модификации электроразведочных методов ВЭЗ, ЭП, ЕП и др. Они часто комбинируются с сейсморазведкой МОГТ, КМПВ. Особенно эффективны методы электроразведки при изучении масштаба интрузий морских вод в сторону суши. Методы электроразведки (ВЭЗ, ЭП) успешно применялись еще в 60-х годах прошлого века на Атлантическом и Средиземноморском побережьях Франции, в Канаде, на побережье Африки (Сенгал), в США, Нидерландах и других странах [Гольдберг, 1966]. Положение зоны дисперсии фиксировалось с точностью 1–2 м. Более точно положение зоны дисперсии устанавливается с помощью электрокаротажа в наблюдательных скважинах.

Электрометрические работы в модификациях постоянного и переменного тока используются для решения целого ряда геологических и гидрогеологических задач, в том числе [Методические. 1967]:

- определения мощности рыхлых отложений в разрезах, сложенных различными по геоэлектрическому сопротивлению породами;
- расчленения разреза рыхлых отложений;
- литологической характеристики поверхностных отложений;
- оконтуривания зон с водами различной минерализации, в том числе загрязненных вод.

Чаще всего используются такие электроразведочные (геоэлектрические) методы, как естественного поля (ЕП), многоразностного профилирования на постоянном токе, вызванной поляризации (ВП), становления электромагнитного поля в ближней зоне МЗСБ ВЭЗ.

Геоэлектрическое профилирование следует проводить по основной сети геофизического профилирования, ориентированной, как правило, в крест береговой линии. Кроме того, необходимо сгущение профилей в мелководной зоне. Сочетание электроразведочных (ЭР) с другими геофизическими методами придает им особую эффективность и информативность.

Изучение субмаринной разгрузки, в том числе с помощью ЭР, в 2003 году проводилось в заливе Фламенго (Бразилия) [Quantifying, 2006]. Для определения проводимости и удельного сопротивления использовались оригинальные многоэлектродные установки с размещением электродов, как на глубине, так и на поверхности (Рис. 11.3).

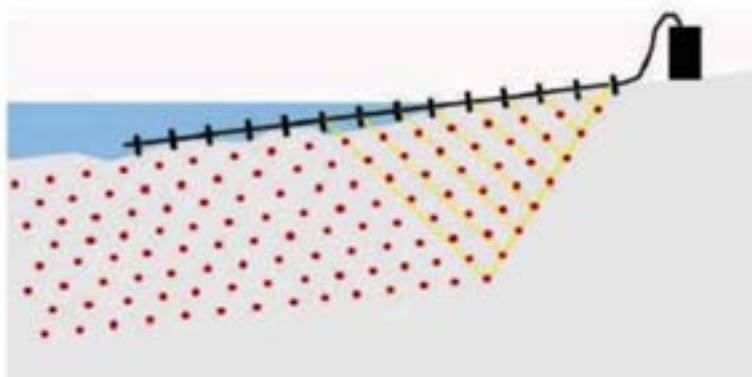


Рис. 11.3. Схематическое изображение варианта расположения электродов при электроразведочных работах на морском дне [Quantifying, 2006].

Комбинации расположения электродов позволяют добиваться высокой разрешающей способности наблюдений. На рисунке 11.4 а показан разрез, построенный по 130 измерениям в отдельных точках.

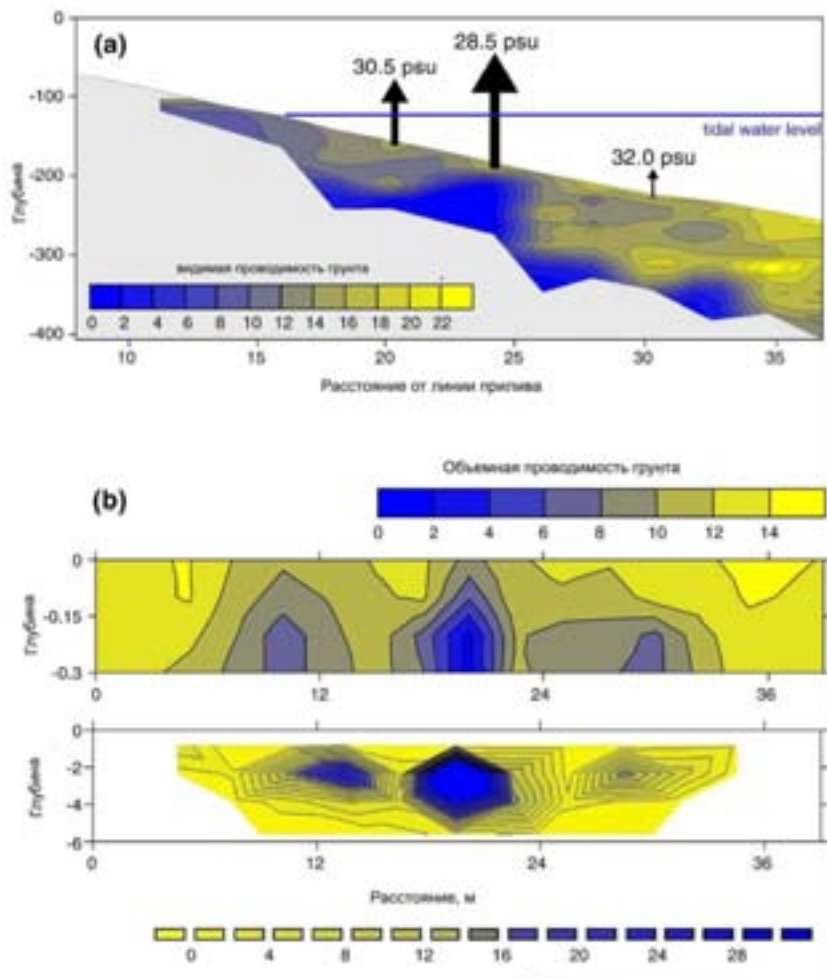


Рис. 11.4. Проводимость (а) и удельное сопротивление (б) поперечного разреза, расположенного по нормали к берегу в заливе Фламенго (Бразилия) [Quantifying, 2006].

а – стрелки на расстоянии 20, 24 и 31 м указывают местоположение ручных измерителей фильтрации, причем длина стрелок пропорциональна среднему потоку грунтовых вод; б – удельное сопротивление на рисунке фактически показывает соленость воды. Градации удельного сопротивления $\text{ом}\cdot\text{м}$ в зависимости от расстояния от уреза (м) показаны в нижней части рисунка.

Оба разреза наглядно демонстрируют неоднородность в проницаемости донных отложений и, соответственно, в интенсивности по-

тока разгружающихся подземных вод. По данным электроразведочных наблюдений были скорректированы места постановки ручных измерителей фильтрации. Таким образом, удалось определить максимальные, средние и минимальные расходы субмаринной разгрузки и ее норму для данного участка. Для более полного изучения процесса субмаринной разгрузки геофизические работы выполнялись в комплексе с запусками красителей (флуоресцеин), с непрерывным измерением концентраций радона и изотопов радия.

Электроразведочные методы представляют собой самостоятельный вид геофизических исследований. Выполнение и интерпретация результатов работ должны осуществлять профессионально подготовленные геофизики. Задача гидрогеологов – выделить перспективные участки проведения электроразведочных работ, определить целевое назначение работ и наиболее эффективный способ разведки. При изучении гидрогеологических условий прибрежной зоны и шельфа Украины электроразведочные методы рекомендуется использовать для следующих целей.

1. В прибрежной зоне для изучения песчано-глинистых и гравийно-галечных пород на участках разгрузки пресных подземных вод. При этом, иногда достаточно использовать лишь геоэлектрические данные, например поперечное электрическое сопротивление и продольную проводимость.

2. В мелководной части шельфа для изучения мощности современных донных отложений, перекрывающих водоносные слои в областях субмаринной разгрузки подземных вод. В частности, метод ВЭЗ эффективен для оценки распространения карбонатных коллекторов пресных вод. Такие геологические условия встречаются на Черном море в Крыму (Каламитский и Каркинитский заливы) и на Кавказе (Гагринский залив, Гудаутская банка).

3. Определения масштабов интрузий морских вод в сторону суши (метод ЕП, ВЭЗ) по песчаным и карбонатным коллекторам.

Локация бокового обзора

Локаторы бокового обзора (сонары) широко применяются в практике морских исследований. Среди модификаций метода выделяются два основных: среднеполосная и узкополосная. Среднеполосная или среднеразрешающая локация выделяет полосу обзора дна шириной 180–200 м (иногда до 600 м). Узкополосная, более разрешающая модификация ограничивает полосу обзора до десятков метров.

Обе модификации используются как в однобортном, так и двубортном вариантах. Верное (многолучевое) высокочастотное излучение под углом 25° к продольной плоскости судна предназначено для акустической полосовой съемки дна с непрерывной регистрацией на бумажном носителе. Использование локаторов бокового обзора позволяет решать следующие задачи:

- получение данных о морфологии (морфометрии) дна на площади съемки;
- оконтуривание акустических аномалий поверхности, интерпретируемых как литологические разности донных поверхностных образований;
- выявление площадей активного акустического отражения (акустических экранов), обусловленных резкими изменениями уклона поверхности дна или местами обнажения плотных подстилающих пород;
- фиксация донного каменного материала и других объектов природного и техногенного происхождения на поверхности дна в пределах разрешающей способности прибора;
- установление зон разгрузки подземных вод и газопроявлений.

Результаты сонарных наблюдений представляются в виде гидролокационных планов или схем накладного монтажа для всей исследуемой площади.

В гидрогеологических исследованиях шельфа сонарные наблюдения высоко информативны, благодаря широкой полосе обзора. Они позволяют изучать и картировать площади спонтанного выделения газа и отдельные газовыделения с визуальной оценкой интенсивности, проявления грязевого вулканизма. Также велика вероятность обнаружения ранее неизвестных глубоководных субмаринных источников, воды которых не достигают поверхности моря, и описания условий разгрузки.

Другие геофизические методы

Применение других, кроме выше перечисленных, геофизических методов в практике морских гидрогеологических исследований практически не встречается. Однако, в процессе гидрогеологического изучения шельфа, в связи с существенно меньшей его изученностью по сравнению с сушей, могут возникнуть нестандартные ситуации, требующие их применения. Очевидно, что кроме чисто гидрогеологических задач, придется проводить доизучение геоло-

гического строения, тектоники, стратиграфии, инженерно- геологических и условий и др. Поэтому, в данном разделе, носящем информационный характер, приводятся сведения о дополнительных возможностях геофизики.

Целый ряд других геофизических методов, в том числе нетрадиционных, используется при комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемках. Например, на суше в комплексе с другими применяется радиометрический метод при разведке месторождений термоминеральных вод. Гравиразведка рекомендуется при изучении оползневых процессов. Гравиметрические наблюдения предполагают получение сведений о том, что в еще устойчивой части склона интервалы наибольших изменений силы тяжести во времени приурочены к зонам зарождающихся трещин скола. Изменения силы тяжести так же наблюдаются в наиболее активных в оползневом отношении ступенях и блоках пород.

Результаты гравиразведки дополняются данными микромагнитной съемки. Физическим основанием для ее проведения служит следующее: вторичная текстура суглинков и глин, возникающая под влиянием аномальных напряжений, вносит возмущения в элементарное магнитное поле. По результатам нескольких циклов микромагнитных наблюдений можно судить о проявлении и направленности действия аномальных напряжений. Далее эта информация используется для установления активных зон в пределах оползневого склона.

Приведенные выше рекомендации апробированы для условий суши [Комплексирование... , 1987]. Однако, по нашему мнению, нет принципиальных препятствий для применения этих геофизических методов в условиях морских акваторий. В береговой зоне и на шельфе известны многочисленные оползневые тела, а также более масштабные проявления склоновых процессов – олистостромы, состоящие из матрикса и оползневых глыб. В развитии оползневых процессов одним из главных факторов являются гидрогеологические (обводненность, уклоны зеркала, направление, характер и скорость движения подземных вод, способ разгрузки). Таким образом, указанные рекомендации вполне обоснованно применимы при комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях шельфа.

В комплекс геофизических методов следует включить еще один, до настоящего времени нетрадиционный – ЕИЭМПЗ, то есть метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли. Относящийся к методам легкой геофизики ЕИЭМПЗ, достаточно успеш-

но применяется как на суше, так и в морских акваториях. В частности, ЕИЭМПЗ использовался в районе западного шельфа Черного моря (дельта р. Дунай – о. Змеиный) [Совга и др., 1997]. В этом районе наблюдается постоянный привнос твердого материала в дельтовые отложения и конус выноса Дуная, носящий «лавиновый» характер. Одновременно с движением и седиментацией наносов происходит уплотнение и частичная литификация осадочных отложений в конусе выноса. Процессы седиментогенеза генерируют электромагнитные поля слабой интенсивности, накладывающиеся на поля, существующие в зонах тектонических нарушений, погребенных под современными осадками. Изучение таких полей, и выделение тектонических нарушений выполняется в профилном варианте ЕИЭМПЗ. Предложения по использованию метода и интерпретации результатов наблюдений, включены в опубликованные методические рекомендации [Совга и др. 1997]. Для наблюдений рекомендуется использовать приборы типа «Апогей» или его другие более совершенные модификации, оснащенные автоматической регистрацией сигналов и блоком памяти. В качестве дополнительного блока памяти и экспресс-обработки результатов измерений в полевых условиях используется ноутбук.

При комплексировании геофизических методов следует учитывать, что метод ЕИЭМПЗ чувствителен к электропомехам, вызываемым другими геофизическими приборами и судовым оборудованием. Поэтому датчики желательнее размещать, используя поплавковые устройства или на буксируемой судном шлюпке.

В качестве самостоятельного объекта исследований при комплексных съемках на морских побережьях выделяются оползни с языковой частью, расположенной под уровнем моря. Движение таких оползней, в том числе катастрофические подвижки, вызывается рядом многочисленных факторов, среди которых ведущее место занимают «морские». К последним относятся: сгонно-нагонные явления, приливы и отливы, сейши, штормовое волнение. Штормовое волнение, особенно при нагонах и сейшах, проявляется в снижении пригрузки языковой части оползня за счет разуплотнения грунтов и частичного выноса их волновыми течениями [Совга и др. 1977]. Другим типом воздействия является передача низкочастотных волновых нагрузок на тело оползня, сравнимых с работой мощного низкочастотного вибратора. Масштабы волнового воздействия уверенно фиксируются с помощью метода ЕИЭМПЗ и зависят от типа грунтов и их обводненности. Интенсивность сигналов уменьшается при

удалении от уреза. При этом расстояние, на котором в импульсном выражении фиксируются удары волн, выражается сотнями метров, превышая иногда километр. Наблюдения ЕИЭМПЗ рекомендуется вести в сочетании с гидрогеологическими и газохимическими наблюдениями в мелких скважинах [Юровский, 1999].

В заключение краткого обзора геофизических методов, применяемых на морских акваториях и береговой зоне, отметим, что, как правило, эффективность и информативность их применения резко возрастают при комплексировании. Однако, интерпретация результатов измерений морской геофизики и геофизических работ на суше имеют некоторые отличия. Данные геофизических исследований на суше обязательно заверяются прямыми геологическими и гидрогеологическими наблюдениями в виде бурения, горными выработками, описанием обнажений, водопунктов и других. Так, скорости распространения сейсмических волн увязываются с реальным геологическим разрезом, вскрытым параметрическими скважинами. Сейсмограммы в акваториях нуждаются в эмпирическом подборе скоростных характеристик и сложной компьютерной обработке. В то же время, при выполнении гидрогеологической съемки шельфа геофизические методы являются одним из главных источников информации, поскольку другие виды исследований резко ограничены спецификой выполнения съемочных работ в морских акваториях. В некоторых случаях, например, в глубоководной части шельфа и на бровке континентального склона, геофизическая информация представляется единственным надежным источником при выполнении съемочных работ. В связи с этим, необходим особо тщательный подход в выборе геофизических методов, их комплексировании и интерпретации полученных материалов. Планирование и выполнение должно также учитывать весь мировой и отечественный опыт проведения морских гидрогеологических исследований.

ГЛАВА 12. ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПЕРЕТЕКАНИЕМ

12.1 Общие положения и последовательность выполнения работ

Субмаринная разгрузка перетеканием (или, как её еще называют – рассредоточенная субмаринная разгрузка) – наиболее изменчивый в пространстве и времени процесс вертикальной фильтрации в моря, На ее интенсивность существенно влияют многие внешние факторы природного происхождения. Например, изменения уровня моря, вызванные приливо-отливными явлениями, сейшмами, штормовыми нагонами и сгонами. Значительное влияние оказывают литодинамические процессы, седиментогенез, особенно активный в дельтах рек, бухтах и эстуариях. В ряде случаев разгрузка перетеканием кардинально меняется при воздействии гравитационных процессов: движении подводных оползней, олистостром. Еще более резкое воздействие на процесс субмаринной разгрузки перетеканием оказывают техногенные факторы: регулирование истока рек, мелиоративные работы, действие прибрежных водозаборов, перехватывающих часть подземного стока, строительство гидротехнических сооружений и другие. При естественном режиме механизм разгрузки перетеканием представляется следующим. В субаквальных условиях происходит последовательное перетекание из нижележащих в вышележащие водоносные горизонты, а затем суммарный вертикальный поток подземных вод разгружается непосредственно в море. Проявление субмаринной разгрузки перетеканием на морском дне обуславливается, в первую очередь, значительной разностью напоров. Имеет значение также толщина и проницаемость современных донных отложений, перекрывающих выход водовмещающих пород. При незначительной разности напоров в толще донных отложений образуется зона дисперсии (смешения). Схематическое изображение такого рода субмаринной разгрузки можно представить в следующем виде (**рис. 12.1**).

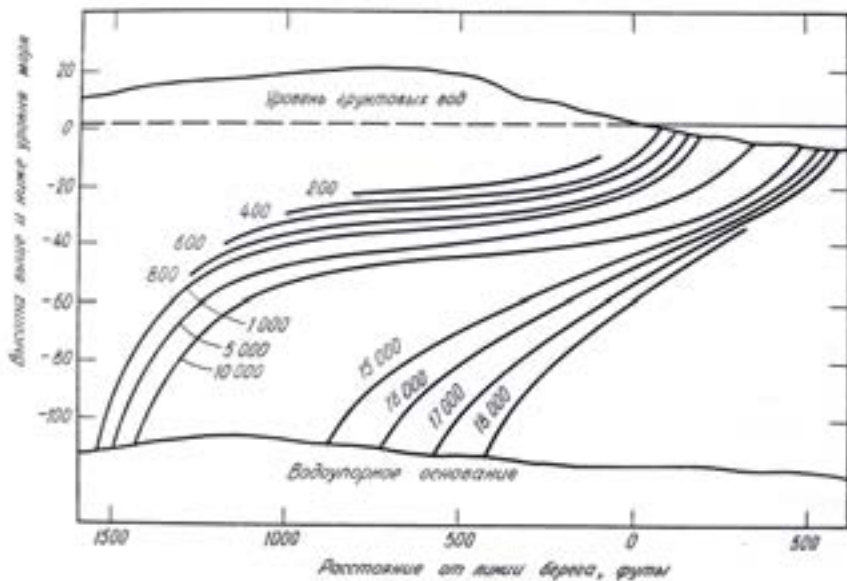


Рис. 12.1. Зона дисперсии в области субмаринной разгрузки грунтовых вод (по Куперу)

Цифрами показано содержание хлоридов (изохлорины) части на один миллион частей раствора.

Накопленный опыт в области экспериментальных работ изучения субмаринной разгрузки перетеканием позволяет определить последовательность их выполнения. Рекомендуется выполнение работ в несколько этапов.

1. Предварительный этап

- анализируется общая гидрогеологическая обстановка на основе всех данных гидрогеологических исследований на суше, в том числе гидрогеологическая стратификация. При наличии достаточно представительных наблюдений по режимным скважинам определяются области субмаринной разгрузки в акватории по методу Р. Г. Джамалова (см. гидрогеодинамический метод);

- анализируются данные геофизических исследований и результаты профилирования пашущим зондом;

- на основании всех проанализированных материалов выделяются участки перспективные для прямых экспериментальных работ.

2. Организационный этап

Этот этап включает в себя рекогносцировочные исследования, логистику, подготовку и доставку приборов и оборудования, проверку датчиков и систем энергоснабжения.

3. Этап полевых подводных работ

Полевые работы выполняются специалистами-гидрогеологами, имеющими допуск к подводным работам (водолазами-совместителями). Состав работ: установка и наблюдения за параметрами вертикальной фильтрации с помощью приборов и оборудования, описание которых приводится в следующем разделе.

12.2 Оценка параметров вертикальной фильтрации с помощью приборов

Для выполнения прямых измерений величины субмаринной разгрузки перетеканием необходимо специальное оборудование. Его следует заранее изготовить, поскольку стандартного серийного производства в мире не существует. Наиболее успешно зарекомендовали себя простые в эксплуатации приспособления для измерений в различных геологических условиях прибрежной зоны (**рис. 12.2**).

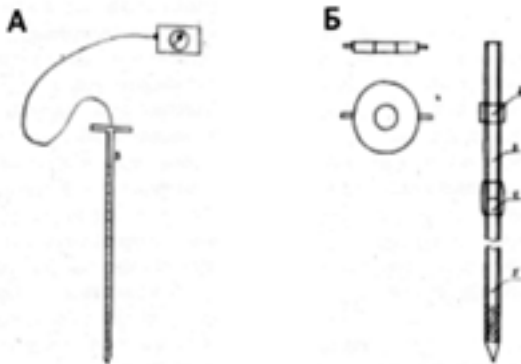


Рис. 12.2. Оборудование для измерения вертикальной фильтрации подземных вод в прибрежной зоне (ИВП РАН) [Методические, 1987]

А. Игольчатый зонд. 1 – измерительный блок; 2 – кабель; 3 – зонд. Игольчатый фильтр. 1 – ударный груз; 2 – опора; 3 – штанга; 4 – муфта; 5 – фильтр.

К простым измерителям величины вертикальной фильтрации относятся инфильтрометры ручного типа различных конструкций.

На **рис 12.3** показана схема инфильтрометра Лее-типа, применяемого в ряде зарубежных стран.

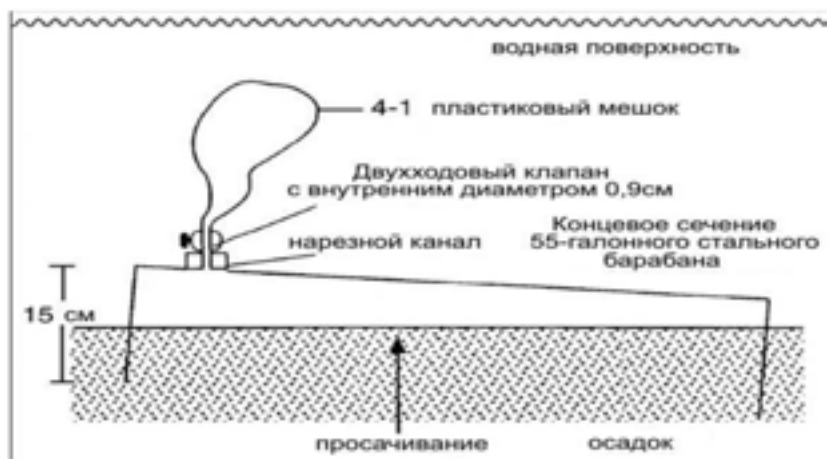


Рис. 12.3. Эскизная схема инфильтрометра ручного типа (Lee-типа) [Qantifying, 2006].

В первом варианте инфильтрометр Лее-типа представлял собой стальной цилиндр (барабан), который открытым концом вставлялся в донный осадок. Вода, фильтрующаяся через осадок, перемещает воду, заключенную в резервуаре барабана, через порт в пластиковый мешок.

Изменение в объеме воды в мешке через заданные промежутки времени обеспечивает измерение величины фильтрации. В дальнейшем при изготовлении инфильтрометров менялись его размеры и вносились некоторые непринципиальные изменения в его конструкцию

Опыт исследований субмаринной разгрузки позволил сделать ряд методических замечаний к использованию инфильтрометра [Qantifying, 2006]:

- необходимо устанавливать много измерителей фильтрации из-за природных пространственных и временных различий в интенсивности потока фильтрации;
- сопротивление трубки, соединяющей барабан с мешком, должно быть минимизировано;
- желательно предусмотреть защиту для пластиковой сумки от волнения и течений;

- сумка изначально должна содержать определенный (измеренный) объем воды для возможности оценки позитивной или негативной фильтрации;
- накладываются ограничения для предела измерения фильтрации, т. е. несколько см^3 на см^2 в сутки;
- существует неопределенность в оценке величины инфильтрации вследствие изменения градиентов давления.

В массовом использовании ручные инфильтрометры являются очень трудоемкими. С целью уменьшения трудозатрат и получения непрерывной информации о процессе разгрузки были изобретены приборы автоматического измерения фильтрации (АИФ). В основу конструкций приборов АИФ закладывались разные принципы: пульсаций высокой температуры (тепло-пульсационный измеритель), непрерывной высокой температуры, ультразвуковых импульсов. АИФ Танигуши (Taniguchi type) основан на времени, в нем используется последовательность термисторов в верхней части перевернутой воронки, перекрывающей заданную часть осадка (**рис. 12.4**).

Индукционным нагревателем служит спираль из нихрома. Система калибруется в лаборатории и затем может выполнять измерения с интервалом в 5 минут.

В 2001 году с участием того же автора было разработано другое устройство – автоматический измеритель фильтрации «типа постоянной высокой температуры». Эта модель позволяет измерять температурный градиент водного потока между датчиками А и В в трубке диаметром 1,3 см. Когда движения воды в трубке нет, разница температур между датчиками максимальна. Соответственно, Δt пропорционально уменьшается с увеличением скорости потока. Принципиальная схема устройства Танигуши и Ивакава [Taniguchi et al., 2001] показана на **рис. 12.5**.

Более сложным в техническом отношении является устройство для непрерывного измерения фильтрации с помощью ультразвуковых измерений [Paulsenetal, 2001]. Однако оно имеет некоторые преимущества перед другими типами приборов. Поскольку скорость звука в воде зависит от солености, этот прибор может использоваться для непрерывного ее измерения. Сложным в использовании также является прибор для непрерывного измерения фильтрации с помощью разбавления красителя [Sholkovitzetal, 2003]. Для оценки концентрации красителя в нем используется спектрофотометр или анализаторы другого типа.

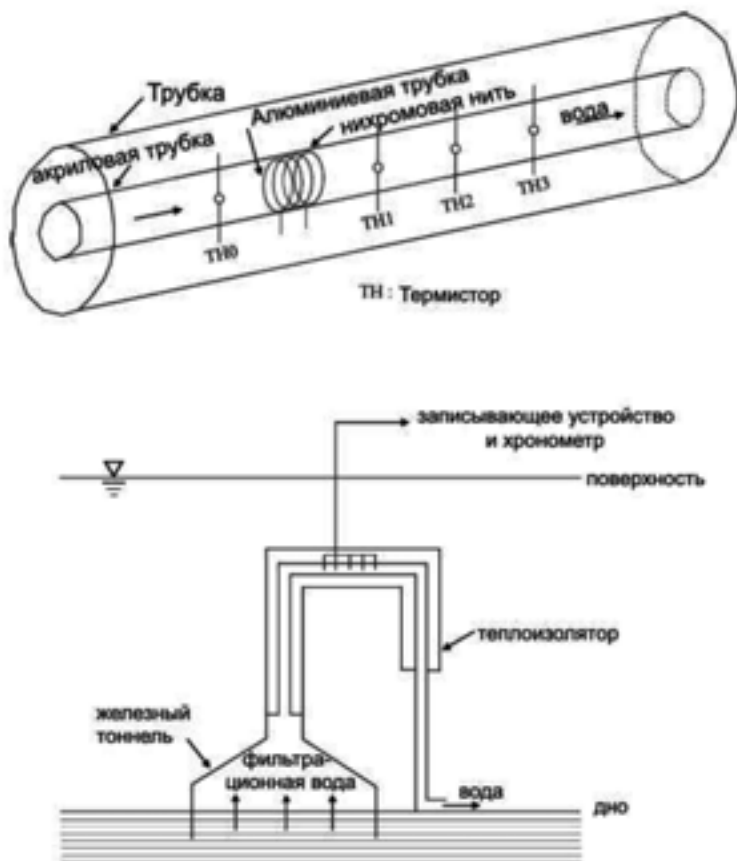


Рис. 12.4. Принципиальная схема автоматического измерителя фильтрации Танигуши типа [Quantifying, 2006]:

Приведенные здесь сведения об автоматических измерителях величины фильтрации носят информационный характер. Возможно, что при дорогостоящих работах по изучению шельфа найдутся средства и для разработки отечественных приборов или закупки их за рубежом.

В очагах фильтрации подземных вод, как правило, возникают придонные аномалии, вызванные разгрузкой. Они проявляются в виде довольно тонкого слоя у самого дна и не могут быть опробо-



Рис. 12.5. Схема автоматического измерителя инфильтрации типа «постоянной высокой температуры» [Taniguchi et al., 2001].

ваны обычными (стандартными) океанологическими приборами, в том числе батометрами различных конструкций. Между тем изучение структуры этих аномалий представляет несомненный интерес для выяснения механизма субмаринной разгрузки перетеканием и оценке величины разгрузки. О величине аномальной зоны и ее структуре можно судить по результатам экспериментальных наблюдений, проведенных в Черном море (рис. 12.6).

Как видно из рисунка, толщина придонной аномалии не превышает 35 см. Наиболее активно процессы смешения проявляются в тонком придонном слое толщиной около 5 см. Проводить такие наблюдения можно только с помощью специального оборудования, обеспечивающего отбор проб воды на удалении 5, 10, 15 и далее сантиметров от поверхности дна. В качестве такого оборудования может использоваться ручной пробоотборник и градиентный батометр, оба конструкции Ю. Юровского (рис. 12.7).

Градиентный батометр представляет собой принципиально новый тип пробоотборника с максимально малым шагом отбора проб. Он прост и дешев в изготовлении. Перед установкой батометра на дне упругие полиэтиленовые емкости сжимаются для создания всасывающего эффекта, после чего краник заборного устройства закрывается. После установки на дне краники последовательно открываются водолазом, и начинается забор пробы. Диаметр трубки заборного устройства должен быть малым, не более 3–5 мм, для постепенного заполнения емкости.

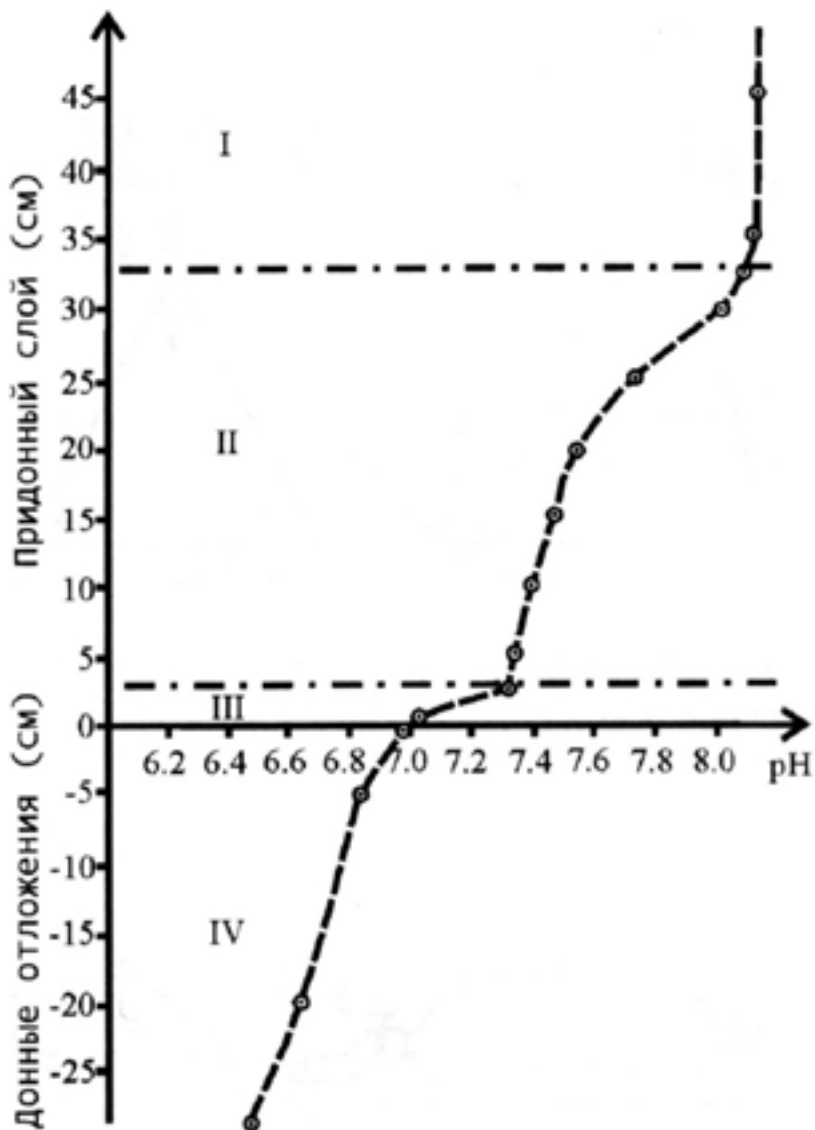


Рис. 12.6. Распределение величины pH в области смешения подземных и морских вод в Черном море (полуостров Тарханкут, б. Сторожевая) [Юровский и др., 2005]

I – фон (морская вода); II – область смешения морских и подземных вод; III – область наибольших градиентов; IV – поровые воды.

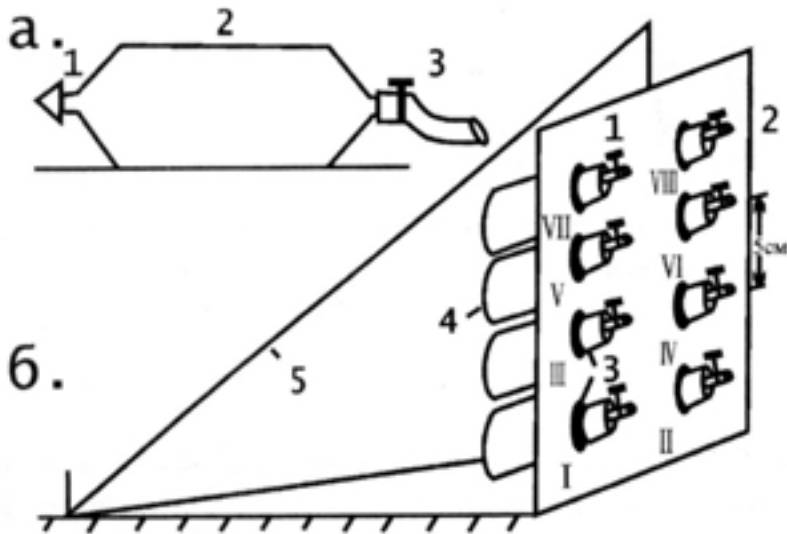


Рис. 12.7. Оборудование для отбора проб в тонком придонном слое.

а. Ручной батометр. 1 – лепестковый клапан; 2 – стеклянная емкость; 3 – резиновая трубка и лабораторный зажим. б. Градиентный батометр. 1 – заборное устройство и номер емкости; 2 – плита крепления заборных устройств; 3 – накидные гайки; 4 – полиэтиленовые емкости; 5 – крепления батометра.

12.3. Оценка величины субмаринной разгрузки с помощью естественных трассеров

Величина субмаринной разгрузки подземных вод в мировой практике оценивается с помощью широкого применения радиоактивных трассирующих элементов. В наиболее масштабных гидрогеологических исследованиях последнего времени эта оценка проводилась двумя способами [Qantifying, 2006]. Первый способ основан на предположении, что радиоактивные элементы – трассеры содержатся только в подземных водах. Соответственно, соотношение концентраций трассеров подземных и морских вод принимается, как обогатенные к фоновым. Второй способ основан на использовании вертикальных профилей геохимического состава в осадках, содержащих поровые воды. При этом постулируется, что распределение трассирующих элементов может быть описано вертикальной одномерной адвективно-диффузионной моделью. Такая модель обычно ограничивается случаем однородной среды.

В первом способе для расчетов чаще всего используются достаточно простые балансовые модели. Так с помощью балансовых расчетов было установлено, что воды континентального шельфа вдоль юго-восточного побережья США более обогащены ^{226}Ra , чем в открытом море [Moore, 1996]. Наблюдался отчетливый градиент концентраций также на границе прибрежная зона – шельф. Используя оценку времени пребывания обогащенных радием вод на шельфе (установившиеся условия), можно вычислить величину потока в открытое море излишков радия. Если предположить, что ^{226}Ra поступает в море исключительно за счет субмаринной разгрузки подземных вод, соответственно оценивается и величина разгрузки. Удобным дополнением к этому подходу является использование недолговечных радиоизотопов ^{223}Ra и ^{224}Ra , в частности, для оценки времени нахождения вод на шельфе.

Массовый балансовый подход может также использоваться для ^{222}Rn с условием учета его взаимодействия с атмосферой. Доминирующим источником поступления радона в море являются подземные воды. Поэтому радон может рассматриваться в качестве естественного трассера.

Радиоактивные трассеры достаточно широко используются в гидрогеологии. Методика и техника измерения изотопов радия и радона, а также физико-математическая теория переноса этих изотопов в природных водных системах, подробно рассмотрена в известной монографии В. В. Гудзенко и В. Т. Дубинчука [Гудзенко и др., 1987]. В последние годы изучение концентраций радона с помощью эманометра РГА-1 «Глициния» проводилось в Украине в продуктах грязевого вулканизма на объектах Керченского полуострова [Гудзенко, 2008]. Автором подчеркивается важная особенность этого природного трассера: его период полураспада – 3,825 суток. Поскольку ^{222}Ra спустя 20 суток распадается на 97 %, его концентрации могут быть зафиксированы не далее чем в 20 сутках пути миграции флюида от места измерений (поверхность земли, дно моря). Полученные данные могут быть использованы при интерпретации исследований подводных проявлений грязевого вулканизма.

Дальнейшему развитию методов радиоактивных трассеров способствовало внедрение новых технологий измерения их концентраций. За рубежом создание адсорбера Mn-fiber позволило обрабатывать пробы воды в 100–200 литров в течение рабочего дня и далее измерять устойчивые изотопы ^{226}Ra и ^{228}Ra методом γ -спектрометрии. В 2001 г. была разработана технология непрерывных наблюдений

за концентрациями радона [Bartnettetal, 2001]. В 2005 г. создана автоматизированная мультidetекторная система для непрерывного наблюдения за концентрациями радона и нанесения их на карту [Dulaiovaetal, 2005]. С помощью шести датчиков можно получать до 12 показаний в час с точностью 10–15 %.

Другой способ состоит в применении γ -лучевой спектromетрии при анализе донных отложений, а также для непрерывного анализа таких изотопов как ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th . В морской воде γ -лучевые спектрометры применяются для непрерывного стационарного и пространственного контроля радона и торона в морской воде. Таким способом, одновременно с измерением солености и температуры и приливо-отливных течений, изучалась субмаринная разгрузка подземных вод у побережий Сицилии и Бразилии [Levi-Palovoetal, 2004].

В качестве природного трассера для изучения субмаринной разгрузки может использоваться метан. Чаще всего это делается в комбинированных измерениях с радоном. Исследования в Мексиканском заливе показали, что вблизи субмаринных источников концентрации метана и радона обратно пропорционально связаны с соленостью [Cableetal, 1996 б]. Концентрации трассеров измерялись в водной толще и в инфилтрометрах в течение нескольких месяцев. При этом линейные соотношения между концентрациями трассеров и величиной разгрузки были статистически значимыми. В 2002 г появилась новая технология непрерывного измерения метана в природных водах с помощью датчика METS (Capsum Technologies GmbH, Trittau, Германия), подробные сведения о которой опубликованы в работе [Kimetal, 1993].

Субмаринную разгрузку подземных вод и процессы смешения разгружающихся вод с морскими можно изучать с использованием других изотопов: нерадиоактивных (^2H , ^3He , ^4He , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , $^{87/88}\text{S}$ г и др.) и радиоактивных (^3H , ^{14}C , U) [Qantifying, 2006]. В этой же работе отмечается, что в случае разгрузки солоноватых и соленых вод изотопные методы имеют определенное преимущество перед химическими. Рекомендуется также в исследованиях подземных вод на шельфе использовать комбинации устойчивых и недолговечных изотопов, сочетание изотопных и других методов изучения.

В настоящем разделе приведены общие, в том числе новейшие, данные об использовании природных трассеров в мировой практике изучения подземных вод на шельфе. Основные разработки и наблюдения проводились сотрудниками и в лабораториях МАГАТЭ. Отечественным специалистам, безусловно, следует учитывать их опыт. Очевидно, работа с радиоактивными трассерами потребует приме-

нения специальной аппаратуры и приборов, высокой квалификации исполнителей. Возможность подобных исследований на Украинском шельфе, выбор изотопов, приборов и оборудования следует определять отдельно в каждом конкретном случае.

12.4 Оценка величины субмаринной разгрузки с помощью искусственных нерадиоактивных трассеров

Искусственные трассеры в гидрогеологии используются для определения направления движения и действительной скорости движения подземных вод. Как правило, это стандартные методы, подробно описанные в учебниках. В практике таких исследований применяется три основных метода: химический, электролитический и колориметрический. В условиях суши в первом случае в качестве трассера для пресных вод может использоваться хлористый натрий, с определениями в наблюдательных скважинах концентраций хлора или общей минерализации. Во втором случае обычно используется хлористый аммоний. Оба эти трассирующие соединения плохо определяются в морской воде, вследствие чего оба метода непригодны к применению в морских условиях.

В колориметрическом методе в качестве индикаторов используются не токсичные красители: флуоресцеин, нигрозин и некоторые другие. При исследованиях субмаринной разгрузки грунтовых вод в море запуск красителя осуществляется в шурф или скважину, расположенную на берегу. Появление красителя на подводном склоне фиксируется визуально и с помощью ручных инфильтрометров. Концентрация красителя в инфильтрометрах определяется на берегу с помощью флуориметра. За рубежом используются спектрофотометры или анализаторы других типов, в том числе автоматические. Обработка материалов экспериментов осуществляется аналогично подобным работам в условиях суши с обязательным построением график $V_d = f(t)$. Определение скорости фильтрации проводится по формуле $V_\phi = V_d/n$, где V_ϕ – скорость фильтрации по Дарси (м/сут), V_d – действительная скорость движения подземных вод, n – эффективная пористость (в долях единицы) водовмещающих пород. Колориметрический метод может успешно применяться для оценки разгрузки как пресных, так и солоноватых и соленых вод. По сравнению с другими колориметрический метод отличается простотой и невысокой стоимостью.

12.5. Оценка величины субмаринной разгрузки по данным гидрохимического опробования поровых растворов донных отложений

Гидрохимический метод оценки величины субмаринной разгрузки используется в тех случаях, когда применение инфильтрометров не дает положительных результатов. При слабых напорах в верхней части разреза донных отложений подземные воды смешиваются с морскими, образуя зону дисперсии. В этом случае рекомендуется проводить опробование поровых растворов с последующим расчетом величины разгрузки.

Поровые растворы донных отложений могут быть получены двумя способами. Первый способ предусматривает отбор образцов грунта с помощью бурения грунтовыми или вибропоршневыми трубками. Образцы керна из колонок грунта с интервалом 0,5–1,0 м далее обрабатываются в лабораторных условиях. Поровые воды извлекаются из грунта либо центрифугированием, либо с помощью специальных прессов отжимом. Далее, растворы подвергаются сокращенному химическому анализу с обязательным определением общей минерализации (солености), концентраций хлор-иона и двуокиси кремния. Наиболее рационально проведение обработки проб и выполнение химических анализов на борту судна (в судовых лабораториях). При отсутствии судовых лабораторий после отделения от грунта пробы помещаются в герметически закрытые стеклянные контейнеры или вместе с керном парафинируются. В таком виде они доставляются в береговые стационарные лаборатории.

Второй способ предусматривает получение поровых растворов без отбора керна. Это могут быть откачки из мелких скважин или откачки с помощью специальной установки (рис. 12.8). Такого рода опробование требует изготовления оригинального оборудования, сложной технологии работ и применяется крайне редко. Приведенные сведения об этом способе носят чисто информационный характер.

Откачки выполняются в неустановившемся режиме и, в отличие от откачек, проводимых на суше, не ставят цель определения гидрогеологических характеристик пласта. Задача заключается лишь в отборе пробы поровых вод.

Для выполнения расчетов величины субмаринной разгрузки необходима следующая информация: 1 – соленость (содержание хлор-иона) поровых растворов в нескольких (не менее чем в двух) интервалах опробования по разрезу; 2 – соленость морской воды в придон-

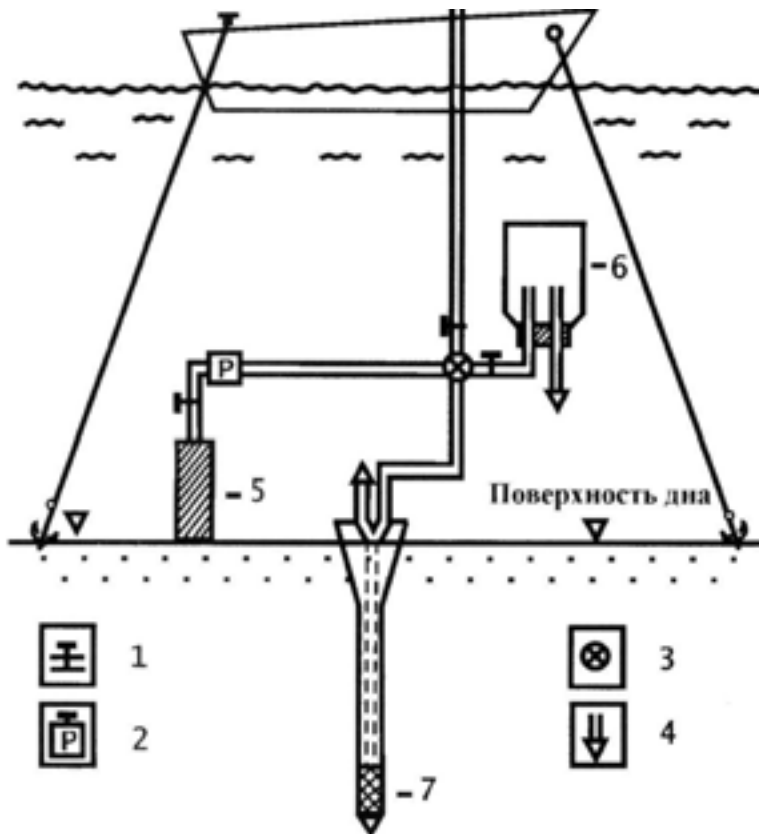


Рис. 12.8. Схема установки для отбора поровых вод в прибрежной зоне.

1 – запорный вентиль; 2 – редуктор; 3 – трехходовой кран; 4 – лепестковый клапан; 5 – баллон с переменным давлением; 6 – емкость для отбора проб; 7 – фильтр.

ном слое; 3 – коэффициент диффузии соли в грунте. Расчеты проводятся по уравнению [Методические, 1987]:

$$AU^b = U - C, \quad (12.1)$$

где $A = (S_1 - S_b)/(S_2 - S_b)$, $C = (S_2 - S_1)/(S_2 - S_b)$; $b = H_1/H_2$;

$$U = \exp(-V H_1/D),$$

В выражении (12.1) S_1 , S_2 и S_b – соленость в интервалах 1, 2 и в придонном слое водоема; H_1 и H_2 – глубина интервалов 1 и 2; V – скорость фильтрации.

Относительная контрастность в интервалах 1 и 2 $K = |(S_1 - S_2)/S_b|$ не должна быть меньше 0,1. Для этого, интервалы следует выбирать на глубине не превышающей 2–3 м, при указанном выше расстоянии между интервалами 0,5–1,0 м. Малая контрастность свидетельствует о двух крайних случаях: а – слишком малая скорость фильтрации (порядка 10^{-5} м/сут) или отсутствие фильтрации; б – слишком большая скорость фильтрации (более 10^{-3} м/сут).

Как при очень малых, так и при очень больших скоростях фильтрации определение величины субмаринной разгрузки не представляется возможным. Поэтому, пределы применимости гидрохимического метода определяются как:

$$10^{-5} \text{ м/сут} < V < 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/сут} \quad (12.2)$$

Уравнение (12,1) целесообразно решать итерационной процедурой

$$U_{i=1} = aU_i^b + C \text{ при } i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (12.3)$$

$$U_0 = C \quad (12.4)$$

Решение заканчивается, когда

$$|U_{i+1} - U_{i+1}^b - C| < 0,01 \quad (12.5)$$

Определение величины субмаринной разгрузки перетеканием за пределами применимости гидрохимического метода выполняется следующим образом. При больших скоростях фильтрации возможно использование инфилтродетекторов. При очень малых скоростях фильтрации решается самостоятельная задача. По существу, скорости фильтрации порядка 10^{-5} представляют собой нижний предел применимости закона Дарси. В механизме разгрузки в этом случае главную роль играют не процессы фильтрации, а диффузионно-осмотические процессы. С помощью гидрохимических данных можно рассчитать разгрузку в виде диффузионного потока.

Представим скорость осмотической фильтрации в виде выражений [Рельтов и др., 1954]:

$$V_0 = K_0 \text{grad } C, \quad (12. 6)$$

K_0 – коэффициент осмотической фильтрации. K_0 – является величиной переменной в зависимости от состава растворов, их концентраций и от плотности породы.

$$K_0 = K_{\phi} i_z \varphi RT / \gamma, \quad (12. 7)$$

где K_{ϕ} – коэффициент гравитационной фильтрации; $\gamma = \rho \cdot \gamma'$ – объемный вес раствора; R – газовая постоянная (82060 см²/моль.град); T – абсолютная температура; $i_z = v F_0$ – изотонический коэффициент по Вант-Гоффу, где v – число ионов, образующихся при полной диссоциации молекул электролита, F_0 – осмотический коэффициент учитывающий взаимодействие ионов в растворе и характеризующий способность породы препятствовать диффузии солей; $\phi = (0-1)$ -коэффициент полупроницаемости, характеризующий способность горной породы препятствовать диффузии солей. При $\phi = 0,5-1$ среда полупроницаема, при $\phi = 0,5$ полупроницаема частично, при $\phi = 0$ грунт полностью лишен полупроницаемых свойств [Павлов, 1977].

Плотность потока диффузии J рассчитывается по выражению:

$$J = n_3 D_c \text{grad}_z C \text{H}_2\text{O} \quad (12.8)$$

где n_3 – эффективная пористость, D_c – коэффициент самодиффузии, $C \text{H}_2\text{O}$ – градиент концентрации, z – мощность слоя диффузии.

В качестве примера приведем расчет величины диффузионного потока для одного из конусов выноса реки в Черном море. Величина градиента концентрации при минерализации подземных вод 0,3 и морской воды 18,0 г/л, при мощности слоя диффузии в 1 м будет составлять $17,7 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Пористость глинистых водоупоров находится в пределах 0,4–0,6 а плотность потока диффузии соответственно составит $110 \cdot 10^{-6}$ и $165 \cdot 10^{-6}$. На площади конуса выноса в 1 км² расход диффузионного потока будет изменяться в интервале 110–165 м³/сут.

ГЛАВА 13. ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СУБМАРИННЫХ ИСТОЧНИКОВ

13.1. Общие положения

Согласно Методическим рекомендациям [Справочное..., 1979] и Водному кодексу Украины к водопунктам относятся источники, колодцы, скважины и др. В прибрежной зоне и шельфе это, главным образом, субмаринные источники. К ним также можно отнести скважины, точки установки ручных фильтрометров и иглофильтров. Наиболее сложным является обследование и опробование субмаринных источников.

Изучение субмаринных источников в морских акваториях выполняется в два этапа. К первому этапу обследования относится их обнаружение и поисковые работы. Ко второму – детальное описание, опробование и определение дебита.

13.2. Обнаружение и поисковые работы

Крупные субмаринные источники, в особенности расположенные на небольшой глубине, легко обнаруживаются визуально. На поверхности моря даже при волнении 3–4 балла четко выделяется гладкое овальное или круглое пятно. Иногда пятно отличается по цвету и явлению, похожему на вскипание воды. У источников с сильным напором на поверхности моря образуется куполообразное возвышение. Для обнаружения небольших источников, факелы которых достигают поверхности моря, в международной практике используется несколько методов:

- спектрзональные и термические аэро- и космонаблюдения;
- вдольбереговое профилирование с непрерывным измерением электропроводности воды на поверхности моря;
- вдольбереговое профилирование с непрерывным измерением электропроводности и температуры воды на поверхности и в придонном слое;

– вдольбереговое профилирование с измерением температуры и содержания двуокиси кремния.

Выбор рациональных и экономически оправданных методов диктуется местными условиями, а так же наличием безопасных в эксплуатации плавсредств, приборов и оборудования.

Для проведения поисковых работ используется специальная аппаратура и датчики. Стандартные резистивиметры, предназначенные для измерений в скважинах (каротажные измерения), по своим техническим характеристикам для проведения поисковых работ не пригодны. Основной их недостаток – инерционность датчиков температуры и малая точность датчиков электропроводности.

Основываясь на отечественном и зарубежном опыте выполнения вдольберегового профилирования, предлагаем ряд методических рекомендаций для получения надежных результатов исследований.

1. Для определения точного местоположения аномалий все измерения на профилях необходимо обеспечить точной геодезической привязкой. В современных условиях для этого используются станции GPS с точностью определения места ± 3 метра.
2. В качестве датчиков температуры следует использовать терморезисторы марки КМТ–14 или аналогичного типа с чувствительностью 0,01–0,015 °С. Для предотвращения повреждения датчиков их следует помещать в жесткую оправу. Регистрация сигналов осуществляется самопишущими приборами с достаточно большой скоростью протяжки ленты (не менее 3–5 см/мин) или бортовым компьютером. В качестве датчиков электропроводности можно использовать стандартные ячейки морских солемеров с платиновыми электродами или датчиками, разработанными для пашущего зонда.
3. Все соединения электрических цепей должны быть надежно изолированы от морской воды.
4. Высокие требования предъявляются к кабель-тросу, используемому для буксировки. Он должен иметь надежную изоляцию, прочность на разрыв и, в тоже время, не быть очень тяжелым.

Выполняя профилирование, следует соблюдать ряд требований:

- при буксировке датчиков по поверхности моря они должны находиться на фиксированной глубине поверхностного слоя, не превышающей 1–2 см. Варианты способов крепления датчиков представлены на **рисунке 13.1**.

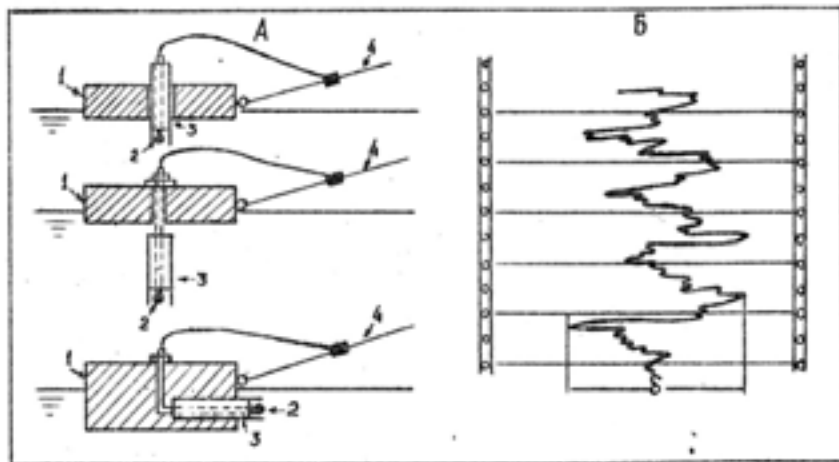


Рис. 13.1. Измерение температуры в тонком поверхностном слое [Юровский, 1984 а].

А. Способы крепления датчика температуры на поплавке: 1 – поплавок; 2 – терморезистор или ячейка электропроводности; 3 – оправа; 4 – буксировочный трос-кабель. Б. Оценка амплитуды (σ) и частоты пульсаций.

- скорость буксировки выбирается таким образом, чтобы положение датчиков все время выдерживалось на заданной глубине, причем датчики не должны находиться в пределах кильватерной струи;
- при буксировке датчиков по дну или в придонном слое они страхуются буйком;
- после прохождения двух – трех профилей (галсов), но не реже чем через 1–1,5 часа, рекомендуется проведение контрольных замеров эталонными приборами (стандартный морской солемер, родниковый термометр или терморезистор). Контрольные замеры необходимы для подтверждения нормальной работы датчиков и оценки фоновых показателей. Результаты контрольных замеров обязательно заносятся в бортовой журнал и в компьютер.

Проводя измерения на вертикальных профилях (станциях), необходимо обеспечить запись параметров в фиксируемых точках такой продолжительности, чтобы уверенно выделить на графике величину и амплитуду пульсаций при обработке результатов наблюдений. Период таких измерений подбирается эмпирически в зависимости от частоты пульсаций и по опыту подобных измерений не превышает 1–2 минут.

Факелы субмаринных источников, помимо аномальной температуры, солености и коэффициента преломления (оптические свойства), зачастую характеризуются повышенной мутностью. Содержание взвесей в воде заметно увеличивается в периоды паводков. Эта особенность субмаринных источников позволяет расширить диапазон методов их обнаружения измерениями мутности воды. Для этой цели можно использовать мутномер конструкции МГИ Национальной Академии наук Украины в буксируемом варианте (рис. 13.2). Буксировка может осуществляться как в при-поверхностном слое, так и в придонном.

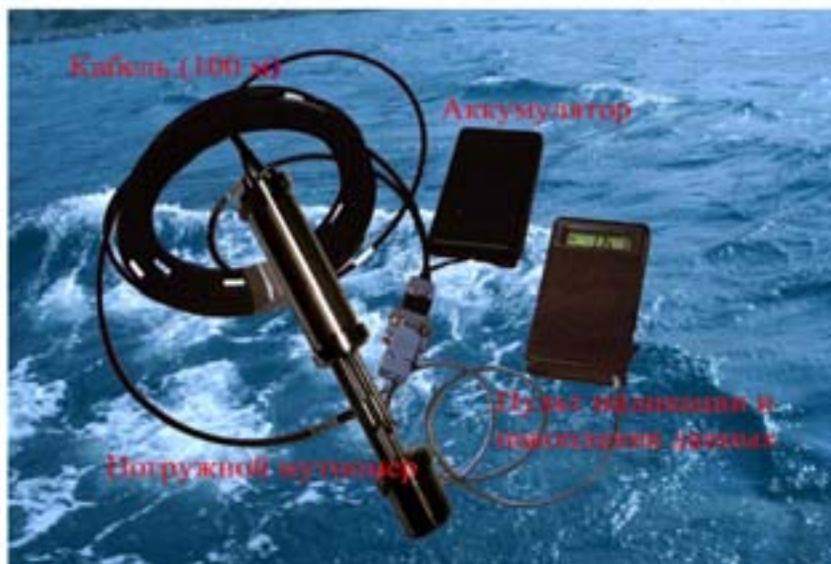


Рис. 13.2. Мутномер конструкции МГИ НАНУ

13.3 Описание субмаринных источников

Описание субмаринных источников (водопунктов) проводится по той же схеме, что и в условиях суши. Стандартное анкетирование включает в себя ряд обязательных положений, расположенных в следующем порядке:

- присвоенный номер водопункта и дата обследования;
- географическое положение (координаты, определенные по GPS);
- геоморфологические условия района;
- абсолютная отметка грифона и глубина моря над грифоном;

- расстояние до уреза воды,
- возраст и состав пород в месте водопоявления, характер и элементы их залегания, дислоцированность;
- состояние поверхности пород в районе водопункта (трещиноватость, эродированность, ориентировка и размеры трещин, карстовые явления);
- линейные размеры источника и условия разгрузки подземных вод (конфигурация источника в плане, размеры и величина грифона, трещины, размеры действующей части, характер и состав заполнителя, наличие фауны, условия и характер вытекания струи);
- отложения водопункта (травертины, окислы в виде корок или мелких конкреций, охристые отложения и т. д.), их состав, особенности залегания;
- наличие газопроявлений (спонтанно выделяющиеся газы);
- наличие взвешенных частиц (мутность) по мутномеру или визуально;
- возможность сооружения каптажных устройств.

Описание целесообразно дополнить сведениями о расстоянии до ближайшего населенного пункта, наличии вблизи водопункта гидротехнических сооружений, коммуникаций (дорог, трубопроводов, линий связи), различных источников загрязнений (сбросных сооружений ливневых и сточных вод).

После выполнения описания субмаринного источника следует определить тип разгрузки. Для этого можно воспользоваться двумя видами типизации: по геолого-гидрогеологическим признакам и по условиям выхода карстовых вод. Первая типизация представлена на **рис. 13.3**, вторая на **рис. 13.4**.

13.4 Определение дебита субмаринных источников

Оценка дебита субмаринных источников представляет собой самостоятельную достаточно сложную задачу. Методы определения дебита источников, расположенных на суше – объемный или гидрометрический, на морском дне не применимы. Современные методы определения дебита субмаринных источников подразделяются на две группы. К первой относятся источники с грифонами, расположенными на относительно ровном морском дне. Ко второй, субмаринные выходы подземных вод в затопленных и полузатопленных полостях (пещерах, гротах), в виде водообильных трещин в клифах и др.

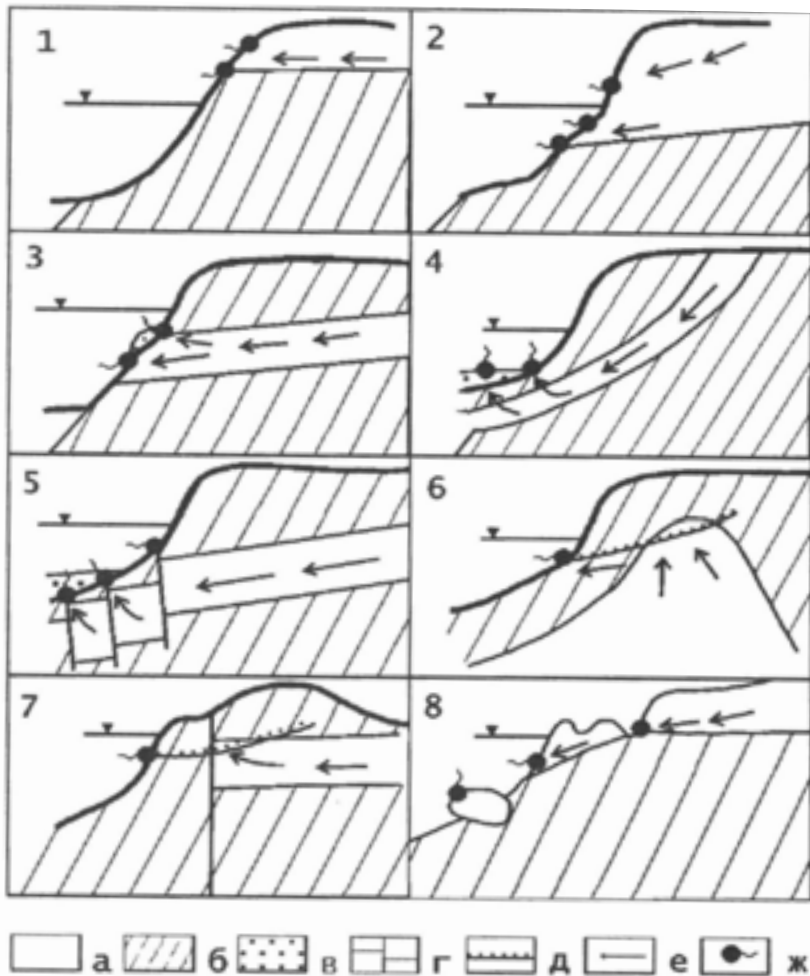


Рис. 13.3. Типизация разгрузки подземных вод в прибрежной зоне Черного моря по В. Н. Дублянскому [Дублянский и др., 1984].

1 – наземная; 2–8 – подводная (2 – безнапорная, 3 – напорная, 4 – напорная через покровный водоупор, 5 – напорная по тектоническим нарушениям, 6 – безнапорная через аллювий переуглубленных долин, 7 – тоже с подтоком по тектоническим нарушениям, 8 – безнапорная отторженцев, олистолигов и биогермов).

а – карстующиеся породы; б – водоупорные породы; в – донные морские отложения; г – тектонические нарушения; д – речные долины и аллювиальные отложения; е – направления движения подземных вод; ж – источники.

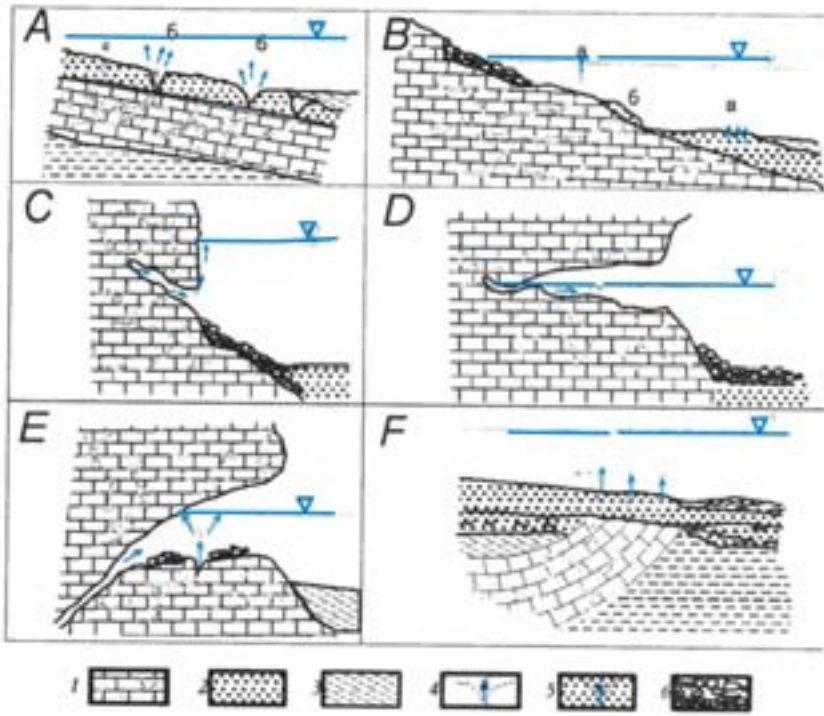


Рис. 13.4. Типизация условий субмаринной разгрузки карстовых подземных вод [Юровский и др., 2005].

А – разгрузка карстовых вод частично экранируется мало мощными слоями современных донных отложений (а). Более мощные струи образуют грифоны, заполненные хорошо промытым крупнозернистым материалом (б), грифоны перекрыты слабопроницаемыми отложениями (в – разгрузка из отдельных открытых трещин и грифонов, выработанных в коренных породах обнажающихся на дне).

В – разгрузка из отдельных открытых трещин и грифонов, выработанных в коренных породах обнажающихся на дне (в).

С – разгрузка осуществляется из наклонных в сторону моря пещер и крупных трещин.

Д – разгрузка происходит горизонтальным потоком в полузаполненных полостях.

Е – разгрузка осуществляется восходящим потоком в затопленных и полузатопленных карстовых полостях.

Ф – разгрузка в зоне выклинивания карстующихся пород, частично экранированная современными донными отложениями.

1 – карстующиеся породы; 2 – песчаные отложения; 3 – современные и погребенные илы; 4 – факел источника; 5 – область фильтрации в песчаных отложениях; 6 – глыбовые навалы и крупный галечник.

Струи разгружающихся подземных вод источников первой группы, распространяющиеся в толще морской воды, принято называть факелами (plume). Их внешние формы в спокойной стратифицированной морской среде подразделяются на шесть типов [Коротков и др., 1980], которые могут быть сведены к трем основным видам: достигающие поверхности моря, уравновешенные в водной толще и придонные. Факелы первого вида образуют высокодебитные источники, расположенные на небольших глубинах, обычно не более 10–15 метров. Величина дебита таких источников может определяться как расчетными методами, так непосредственными измерениями. Второй и третий вид факелов, как правило, образуют малодебитные источники, расход которых определяется только прямыми измерениями.

Для расчетного метода используется уравнение теплового баланса [Юровский и др., 1974], и требуется проведение ряда детальных гидрометеорологических наблюдений (температуры воды и воздуха, психрометрического определения влажности воздуха с расчетом точки росы, скорости ветра). Этот метод можно отнести к приближенным. Наиболее надежными являются непосредственные измерения в районе выхода источника с использованием современных приборов и легководолазной техники.

Первым измеряемым параметром является скорость подъема воды в факеле к поверхности. Измерение её можно осуществить двумя способами:

- с помощью красителей; в грифон источника вводится порция красителя (флуоресцеин, нигрозин), а скорость подъема красителя на фоне масштабной сетки в факеле определяется с помощью подводной кино съемки;
- с помощью прибора ИСТ–1 на центральной оси факела (рис. 13.5).

Экспериментальными исследованиями затопленных вертикальных струй установлено, что вода в факеле представляет собой смесь воды источника и вмещающей среды (морской воды).



Рис. 13.5. Внешний вид погружного и бортового блоков ИСТ-1

Истинный расход источника можно определить, учитывая долю воды источника (обычно пресную воду) в факеле. Для этого следует отобрать как минимум две пробы воды (второй измеряемый параметр): непосредственно в грифоне и на некотором фиксированном удалении от него (обычно 1–3 метра). Расчет доли пресной воды в факеле определяется по формуле смешения:

$$W_h = 1 - (C_h - C_p)/(C_m - C_p) \quad (13.7)$$

Где W_h – доля пресной воды на высоте h от дна, C_h – концентрация одного из компонентов химического состава в смеси пресных и морских вод (в качестве этого параметра можно использовать концентрацию хлора, кремнекислоты или общую минерализацию), C_p и C_m концентрации того же элемента соответственно в пресной и морской воде.

Дебит субмаринного источника определяется как:

$$Q = V_{cp} \cdot \Omega_{\phi} \cdot W_h \quad (13.8)$$

Где Q – дебит источника, V_{cp} – средняя вертикальная скорость на высоте h , Ω_{ϕ} – площадь сечения факела на той же высоте.

В практике морских гидрогеологических исследований могут встречаться случаи, когда грифоны субмаринных источников труднодоступны. Кроме того, в реальных ситуациях можно встретить разгрузку не только пресных, но и слабоминерализованных и минерализованных вод, начальная минерализация которых до зоны смешения (выше ядра факела) неизвестна. В этом случае, для расчета начальной концентрации одного из компонентов подземных вод ($C_{подз}$) при известных размерах поверхностной аномалии можно использовать эмпирическое выражение вида [Лапшев, 1977]:

$$\frac{C_{max}}{C_{min}} = \frac{3,64}{NB_{II}} \sqrt{\frac{Kd}{LVp}} \quad (13.9)$$

где $B_{II} = f(R, H/D)$ – ширина пятна аномалии, зависящая от числа Ричадсона и относительной глубины. При малых скоростях выхода субмаринного источника, когда смешение происходит уже на уровне грифона $B_{II} = D/2 = R$, т. е. радиусу грифона. При больших напорах величина B_{II} определяется зоной, где начинается действие инерционных сил (напора источника); L – длина аномалии; Kd – осредненный коэффициент турбулентной диффузии; Vp – скорость течения.

На практике определенную трудность представляет определение величины коэффициента турбулентной диффузии. Для прибли-

женных расчетов можно использовать формулу А. И. Фельзенбаума [Фельзенбаум, 1960]:

$$Kd = 0,54 WH, \quad (13.10)$$

где W – скорость ветра м/с; H – глубина моря, м.

Величина субмаринной разгрузки подземных вод в затопленных и полузатопленных карстовых полостях определяется по методу «скорость – площадь». Теоретическое обоснование метода приведено в работе [Юровский, 1998]. Методика определения дебита сводится к следующему. Независимо от числа субмаринных источников в полости и их особенностей определяется их суммарный расход, то есть вся полость представляется в виде одного источника.



Рис. 13.6. Гидрологический зонд ГАП – АК- 16 Р

В пределах портала полости, выходящего в море, выбирается положение рабочего створа, на котором проводятся все измерения. Скорость течения измеряется прибором ИСТ–1, температура и соленость гидрологическим STD – зондом ГАП –АК- 16 Р (рис. 13.6).

Прибор ИСТ–1 позволяет измерять скорость переменного направления (реверсивный режим), отфильтровывать волноприбойную составляющую и осреднять мгновенные составляющие скоростного потока (пульсации скорости). Для расчета дебита используются только значения скоростей, направленные из полости в море. Пример графической обработки измерения скоростей показан на рис. 13.7, где красным цветом показаны значения скоростей, направленных из полости.

С помощью гидрологического зонда выявляется толщина (мощность) слоя, представляющего смесь пресных подземных и соленых морских вод (h), а так же доля пресной воды в смеси (Wh). В условиях ветрового волнения или зыби приборы рационально закреплять

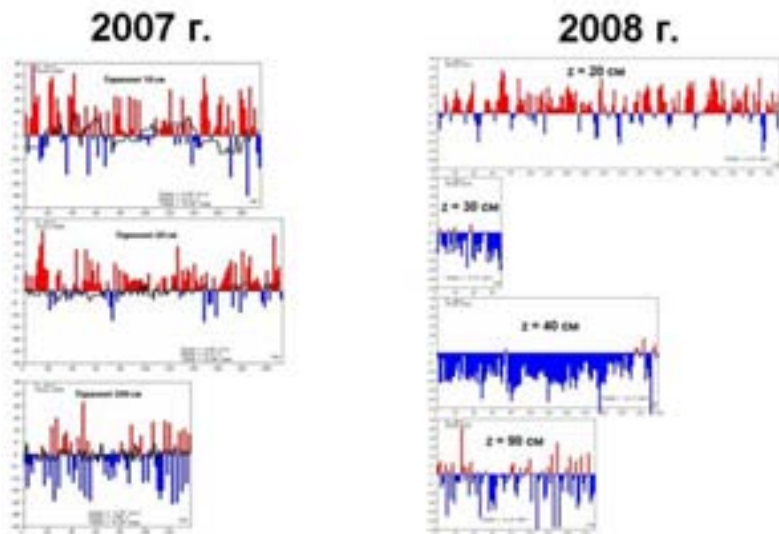


Рис. 13.7. Результаты измерения скоростей течения прибором ИСТ-1 на выходе из полузатопленных карстовых полостей у мыса Айя в Крыму. Представлено А. В. Прусовым.

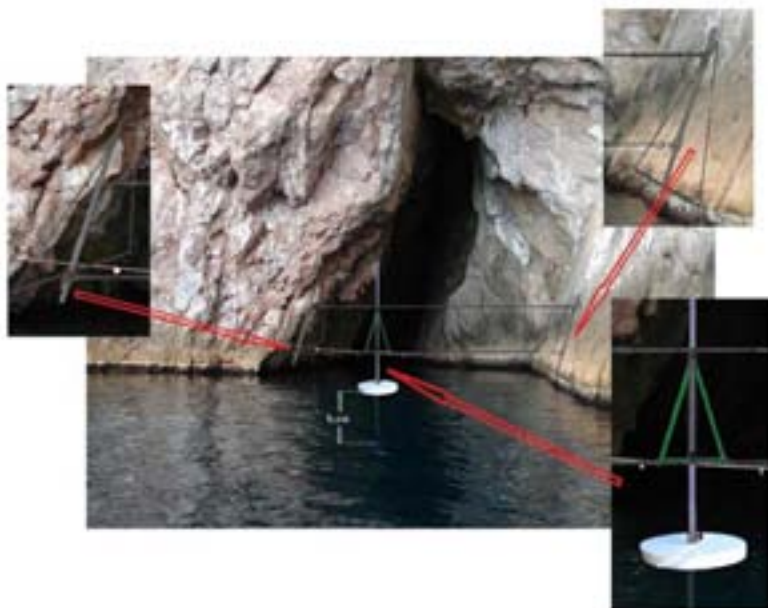


Рис 13.8. Фотоколлаж, показывающий технику измерений в условиях отвесного клифа и волнения по схеме МГИ НАНУ. Представлено А. В. Прусовым.

на поплавках, прикрепленных в свою очередь к несущему тросу. Техническое решение выполнения измерений показано на **рис. 13.8**.

По толщине распресненного слоя h и измеренной ширине полости (B) в створе вычисляется площадь живого сечения ($\Omega_{\text{жс}}$), в пределах которого происходит субмаринная разгрузка, то есть движение смеси пресных и морских вод из полости ($\Omega_{\text{жс}} = Bh$). Величина дебита вычисляется по методу (скорость – площадь):

$$Q = V_{\text{ср}} \cdot \Omega_{\text{жс}} \cdot W_h, \quad (7.12)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя горизонтальная скорость в площади живого сечения.

Для определения минерализации подземных вод и расчета величины Wh , отбирается проба непосредственно из грифона субмаринного источника или водообильной трещины в пределах полости. Эта же проба, объемом не менее трех литров, используется для определения качества подземных вод и состава растворенных газов.

13.5. Определение состава и расхода спонтанных газов

Обнаружение участков спонтанно выделяющихся на морском дне газов может быть визуальным при проведении маршрутных исследований в легководолазном снаряжении. На глубинах более сорока метров факелы спонтанных газов обнаруживаются с помощью сейсмоакустической аппаратуры. При этом, на сейсмограммах распознаются как отдельные струи газа, так целые поля газопроявлений. Реже используются локаторы бокового обзора.

На небольших глубинах отбор проб спонтанных газов производится с помощью газовых ловушек, устанавливаемых на дне водолазом. Принципиальные конструкции таких ловушек показаны на рисунке 13.9. Конструкция (**рис. 13.9 б**) позволяет одновременно с отбором пробы газа определять интенсивность его выделения.

В принципе, для отбора проб газа можно использовать и ручные инфильтромеры Lee – типа с последующим переводом газовой составляющей из пластикового мешка в стеклянную емкость. Однако надо иметь в виду, что в этом случае в пробе будет присутствовать атмосферный воздух. Отобранные пробы в стеклянных емкостях с притертыми пробками доставляются в лабораторию и обрабатываются на газовом хроматографе.

В глубоководной части шельфа отбор проб может производиться батометрами. Реальная возможность опустить батометр в газовый факел практически отсутствует из-за дрейфа судна. Поэтому,

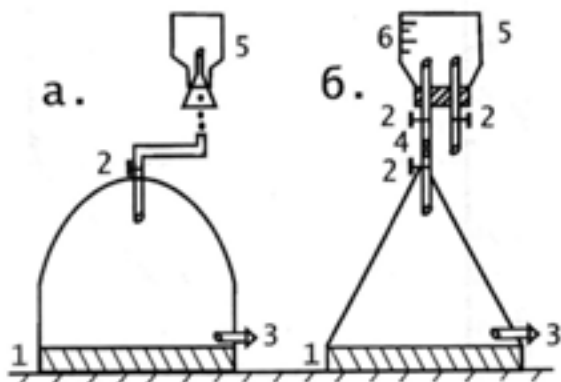


Рис. 13.9. Схемы ловушек для сбора спонтанно выделяющихся газов конструкции Ю. Юровского.

1 – утяжеляющее металлическое кольцо диаметром 0,5 м; 2 – вентиль; 3 – лепестковый клапан; 4 – разъем; 5 – емкость для сбора газа; 6 – градуировка емкости.

фактически отбирается проба воды в непосредственной близости от газопроявления. Для определения состава газа, содержащегося в растворенном состоянии, пробы воды дегазируются на специальных установках в лабораторных условиях, а затем обрабатываются на хроматографе. Наиболее детально методика газогеохимических исследований субаквальных площадей разработана для нефтегазопроисковых работ на шельфе. Она представляет собой совершенно самостоятельное направление, основные положения которого изложены в работе [Комплексные..., 1985].

Технически возможный, но чрезвычайно дорогостоящий способ отбора спонтанных газов может быть осуществлен с помощью ПОА (подводных обитаемых аппаратов). Для этой цели пригодны ПОА, оснащенные манипуляторами, конструкция которых позволяет отобрать пробу непосредственно из газового факела. Доставленные на поверхность пробы также обрабатываются на газовом хроматографе.

ГЛАВА 14. МАРШРУТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

14.1. Общие положения

При выполнении гидрогеологического картирования (гидрогеологические съемки разных масштабов) маршрутные исследования являются основным видом работ. В задачи маршрутных исследований входит: изучение и картирование геоморфологических элементов, геологического строения по обнажениям горных пород, границ распространения каждой литолого-фациальной толщи, тектонических нарушений и их зон, водоносных и дренированных горизонтов, отдельных водопунктов, физико-геологических явлений (карст, оползни, абразия и др.) и т. д. Полученный в результате прохождения маршрутов материал является наиболее важным для характеристики верхних водоносных горизонтов и для составления гидрогеологической карты [Временные..., 2005]. Подробное описание задач, порядок и способы их решения имеются в соответствующих документах, регламентирующих наземные маршрутные наблюдения гидрогеологического изучения масштаба 1:200 000. Фактически те же задачи, при той же регламентации, должны решаться при выполнении маршрутных исследований в морских акваториях. К ним добавляются некоторые другие наблюдения, связанные с особенностями прибрежно-морских акваторий: изучение литодинамических процессов, деформаций дна, конусов выноса рек, палеорусел.

Главная специфика выполнения морских маршрутных исследований заключается в том, что маршруты проходятся под водой в легководолазном снаряжении (водолазные работы). Соответственно, выполнение маршрутных исследований возлагается на опытных специалистов-гидрогеологов, прошедших профессиональную водолазную подготовку и имеющих квалификацию водолазов-совместителей. При этом должны соблюдаться все требования по организации водолазных работ и технике безопасности. Репарка автора: на наш взгляд следует исключить возможность выполнения подводных работ дайверами, даже с самым высоким квалификационным сертификатом. Как известно – море ошибок не прощает.

Подводные маршрутные работы представляют собой комплекс, включающий следующие виды наблюдений:

- геоморфологические;
- литодинамические;
- океанологические;
- геологические;
- гидрогеологические;
- геоботанические;
- экологические.

Как и на суше, эти наблюдения сопровождаются качественным и количественным опробованием. Опробуются донные отложения, поровые воды, морские воды, субмаринные источники. Непосредственно в поле составляются карты, на которые наносятся точки наблюдений. Количество точек наблюдений зависит от ряда причин. Главные из них:

- 1 – глубина морской воды, ограничивающая водолазные работы и, соответственно, длину профиля (маршрута);
- 2 – степень сложности геологических и гидрогеологических условий;
- 3 – выдержанность водоносных горизонтов по площади и в разрезе;
- 4 – характер взаимодействия подземных и морских вод.

К характеру взаимодействия можно отнести два разнонаправленных процесса – субмаринную разгрузку подземных вод и интрузии морских вод в сторону суши. Оценка условий протекания этих процессов определяется при профессиональном выполнении маршрутных исследований. Подчеркнем, что высокий уровень профессиональной подготовки необходим для выполнения широкого комплекса наблюдений в ограниченное время нахождения под водой.

14.2. Подготовительные работы

Успешное выполнение задач по гидрогеологическому изучению субаквальных площадей во многом зависит от качественной подготовки к проведению подводных маршрутных исследований. Подготовка состоит из обязательного выполнения ряда организационно-методических мероприятий:

1. Изучение геологического разреза приморской полосы в районе работ с выделением стратиграфических подразделений, и анализ гидрогеологических условий.

2. Обработка стандартного ведения полевой документации в подводных условиях. В том числе: полноты описания подводных профилей в полевом дневнике, выбора классификации современных морских осадков, маркировки проб воды и геологических образцов.

Другая часть подготовительных работ касается планирования и организации выполнения маршрутов.

Планирование производится на основе топографической карты с подробной батиметрией. Причем масштаб карт должен быть максимально крупным. Например, для большей части побережья Крыма имеется батиметрическая основа 25 000 масштаба. В отдельных случаях можно использовать навигационные карты соответствующих масштабов. Батиметрические карты позволяют:

- определить протяженность подводных маршрутов (до заданной изобаты) и уточнить планируемые объемы подводных работ;
- получить рабочую основу для нанесения материалов подводных исследований;
- предварительно выявить донные макро- и мезоформы рельефа, а так же другие морфологические особенности дна;
- подготовить картографическую основу для оценки интенсивности литодинамических процессов.

Определение объемов дорогостоящих подводных работ и протяженности маршрутов производится на основе следующих предпосылок. Работы в легководолазном снаряжении с воздушной дыхательной смесью возможны до глубины не более 40 метров. Однако на глубинах 35–40 м время пребывания водолаза крайне ограничено (до 3–5 минут). Поэтому, проведение маршрутов следует ориентировать до изобат 20–25 метров.

При планировании подводных маршрутов в Черном море следует учитывать, что видимость под водой очень мала. В прибрежной зоне вертикальная прозрачность по стандартному диску не превышает 10–15 м, а реальная видимость составляет не более 5–10 м. Частота маршрутов в таких условиях должна быть в 2–4 раза больше, чем на суше. То есть, при изучении в масштабе 1: 200 000, маршруты следует планировать через один километр в относительно простых геологических условиях и через 0,25 км в сложных.

Организация подводных маршрутов обычно возлагается на руководителя спусков (водолаз первого класса, начальник водолазной станции). В его обязанности входит обеспечение всех мероприятий по технике безопасности подводных работ. В том числе проверка ис-

правности легочных автоматов, своевременной опрессовки баллонов, качества воздуха, нагнетаемого в акваланги компрессором, выбор водолазных костюмов, предохраняющих пловца от переохлаждения, постоянная связь со спасательной станцией имеющей барокамеру проведение инструктажей и т. д.

В число организационных мероприятий также входит:

1. Дооборудование имеющихся плавсредств (маломерные катера, шлюпки со стационарными и подвесными моторами) для обеспечения страховки при проведении подводных маршрутов. В заводском изготовлении обычно не предусмотрена установка трапов, лебедок и других приспособлений.
2. Отработка связи между водолазом и обеспечивающим судном (по сигнальному концу или переговорному устройству).
3. Определение геодезической привязки точек наблюдений (засечками с берега, секстантом или прибором GPS).
4. Прохождение пробных маршрутов с детальным разбором всех операций и результатов наблюдений

Направление маршрутов обычно задается по нормали к линии уреза. Дополнительные маршруты назначаются в крест простирания пород по направлению основных морфологических элементов дна и в конусах выноса рек. Ограниченная видимость сильно затрудняет ориентирование водолаза под водой. Кроме того, его постоянно сносит с маршрута вдольбереговыми течениями. Для прохождения подводного маршрута строго по заданному азимуту целесообразно использовать следующий прием. На берегу устанавливается свободно вращающаяся катушка с намотанным на нее капроновым тросом. Предварительно трос размечается марками через 10–20 м. Длина троса составляет 300–500 м и может регулироваться в зависимости от протяженности маршрута. Свободный конец троса, снабженный якорем, под натяжением заводится катером в море по выбранному азимуту и сбрасывается в воду. Место сброса помечается буйком. Координаты начальной точки маршрута и буйка определяются GPS. Водолаз проходит маршрут по тросу, лежащему на дне, не тратя время на ориентирование и четко контролируя пройденное расстояние по маркам. Этот простой прием значительно увеличивает производительность подводных работ и качество картирования.

Время проведения подводных маршрутных исследований следует назначать в сезон наименьшей повторяемости штормов. Выполнение водолазных спусков возможно только в штилевых условиях.

После прохождения штормового волнения приходится переждать некоторое время, пока оседет взвесь и установится приемлемая видимость под водой. В период всего срока выполнения работ необходимо внимательно следить за метеопрогнозами, за приближением внезапных шквалов и усилением волнения.

14.3. Геоморфологические наблюдения

Геоморфологические наблюдения являются обязательной составляющей маршрутных исследований. Основной задачей геоморфологических наблюдений является:

- изучение распространения и особенностей форм рельефа и их влияние на площадное распространение и разгрузку подземных вод;
- выявление характера и направленности геологических процессов и явлений, связанных с формированием рельефа прибрежной зоны;
- получение дополнительного материала для картирования геологических структур, литологического состава пород;
- оценка влияния геоморфологических условий на инженерные сооружения (портовые, берегозащитные, курортно-рекреационные).

Геоморфологическое описание участка исследований включает в себя комплексные надводные и подводные наблюдения.

Надводные наблюдения проводятся согласно утвержденным методическим рекомендациям по выполнению гидрогеологической съемки и требованиям к проведению гидрогеологического изучения масштаба 1: 200 000. Особое внимание обращается на:

- определение морфологических особенностей береговой зоны (тип берега абразионный, аккумулятивный, высота и сложение клифов, ширина и вещественный состав пляжей и др.);
- оценку параметров речных долин (глубина вреза, ширина, число террас и др.), мелких водотоков, балок, ложбин (ширина, длина, уклон, крутизна склонов, наличие или отсутствие стока).

Ограниченная видимость под водой значительно снижает возможность геоморфологических наблюдений. Поэтому, перед проведением маршрутных наблюдений требуется проведение тщательного анализа ряда материалов: дешифрирования космо- и аэроснимков, карт изобат, результатов эхолотных промеров. Особенно эффективны крупномасштабные (1:10 000–1:25 000) эхолотные промеры с подробной изобатной обстановкой (изобаты с интервалом в 1 метр). С помощью этих материалов выявляется общий характер морфологии дна, размеры макро- и мезоформ донного рельефа. К ним отно-

сятся размеры и формы конусов выноса рек, затопленные морем террасы, подводные бары и косы, гидробарханы, вершины подводных каньонов, ложбины, в том числе образованные разрывными течениями, вдольбереговые валы и другие. Подводные наблюдения могут лишь уточнять их положение и особенности строения. При проведении подводных маршрутов хорошо видны и уверенно картируются микроформы донного рельефа: рифели (знаки ряби), валунные и песчаные гряды, ложбины, небольшие гидробарханы.

Полученные в результате проведенных работ геоморфологические данные позволяют определить эволюционные этапы развития морских побережий, уточнить их геологическое строение, определить интегральную направленность развития береговых и литодинамических процессов. Морфология прибрежной зоны зачастую определяет возможность интрузий морских вод в сторону суши, а также условия субмаринной разгрузки подземных вод.

14.4. Литодинамические наблюдения

Литодинамические наблюдения проводятся с целью изучения вещественного и механического состава наносов, интенсивности их перемещения и возможного влияния на процессы субмаринной разгрузки подземных вод. Движущиеся наносы могут перекрывать, или, наоборот, обнажать очаги активной фильтрации подземных вод, грифоны субмаринных источников, в особенности малodeбитных. В таком качестве они играют роль «клапанного механизма» в процессах субмаринной разгрузки. При этом существенную роль играет механический состав наносов, определяющий фильтрационные свойства отложенного на дне материала. Следует также учитывать, что все аккумулятивные образования на дне в той или иной степени подвижны и мигрируют с разной скоростью. Наиболее быстро перемещаются микроформы (знаки ряби, песчаные волны, вдольбереговые валы). Значительно медленнее макроформы и крупные образования (гидробарханы, бары, косы).

При проведении маршрутных исследований рекомендуется проведение следующих литодинамических наблюдений:

- выявление и обследование участков, являющихся источниками поступления наносов (подводные части оползней, активно абрадируемые бенчи, конуса выноса, устьевые и дельтовые участки рек);
- выявление и описание характера и подвижных форм донного микро- и мезорельефа (форма, величина и ориентировка знаков

ряби, наличие песчаных вдольбереговых валов и волн, их размеры и ориентировка, наличие локальных депрессий в рельефе, характер залегания рыхлых отложений вблизи верховьев подводных каньонов и др.);

- определение степени уплотнения верхней части донных отложений визуальнo и с помощью ручного щупа (уплотненные, слабоуплотненные, жидкие, полу-взвешенные);
- выявление подводных границ песчаных и галечных пляжей, присутствия галечного материала на удалении от пляжа, степень и форму окатанности галек;
- проведение отбора проб донных отложений из каждой литологической разности по профилям, а также в долинах рек и участках активной абразии с целью выявления минералов-индикаторов; помимо минералогического, проведение отбора проб по профилям на механический (гранулометрический) анализ для дальнейшего вычисления коэффициента фильтрации по эмпирическим формулам или прямых определений K_{ϕ} на приборе СПЕЦГЕО;
- определение участков для проведения повторных опробований и оценка возможности проведения специальных литодинамических исследований (установка реперных полей, ловушек движущихся наносов, экспериментов с мечеными песками и галькой).
- изучение проб донных отложений для решения вопросов не только литодинамики, но и геологии и геохимии; изучение с геологических позиций вещественного состава рыхлых осадочных пород (минералогия тяжелой и легкой фракций), с геохимических позиций – определение концентраций отдельных элементов, в том числе загрязняющих геологическую среду.

Количество отбираемых проб на отдельных участках может сильно варьировать. При однородных по составу донных отложениях на профиле отбирается 2–3 пробы. При пестром составе донных отложений отбирается проба из каждой литологической разности. Опыт проведения геологических и литодинамических исследований в различных морских акваториях (Черное и Азовское моря, Охотское, Японское и др.) показывает, что для прибрежной зоны в масштабе изучения 1: 25 000 на один погонный километр береговой линии отбирается 12–25 проб. В глубоководной части шельфа при изучении в масштабе 1: 200 000 отбирается 1–2 пробы на 1 км² исследуемой площади. Более высокие кондиции для геологических построений и картирования морского дна объясняются закрытостью морских акваторий для прямых наблюдений.

14.5. Океанологические наблюдения

Полный комплекс океанологических (гидрологических) наблюдений должен проводиться в качестве самостоятельного вида работ, включающего измерение таких гидрологических параметров, как скорость и направление течений, волнение, гидрохимический состав и ряд других параметров. Для этой цели используются специальные океанологические приборы: АЦИТ, буквопечатающие вертушки, батометры, волномерные вехи разных конструкций, постановка буйковых станций и др. Могут применяться и более современные приборы, например, ультразвуковые измерители скоростей, при условии сертификации их метрологической службой.

Выбор места для постановки таких наблюдений в прибрежной зоне целесообразно осуществлять во время маршрутных исследований.

При прохождении маршрутов также визуально отмечается:

- направление вдольбереговых течений и повышенные скорости придонного течения;
- участки повышенной или пониженной температуры воды придонного слоя;
- понижение прозрачности, мутность;
- кроме визуальных наблюдений выполняется отбор придонных проб воды.

Ручное опробование придонного слоя – обязательная операция, которая качественно отличается от опробования, выполняемого с помощью батометров. Все стандартные конструкции батометров предусматривают его открытие не менее чем в 1 метре от дна. Это недопустимо большая величина. Опыт проведения морских гидрогеологических исследований показывает: гидрохимические придонные аномалии, вызванные субмаринной разгрузкой подземных вод, проявляются в 10–20 см от поверхности дна и могут фиксироваться только с помощью ручного опробования. Пластиковые или стеклянные емкости для отбора проб, предварительно маркированные, опускаются водолазу по рабочему концу со страхующего судна. По сигналу водолаза они поднимаются на борт и снабжаются этикеткой. Каждая отобранная проба с определением привязки отмечается одновременно водолазом и в бортовом журнале судна. После окончания маршрута и сверки количества отобранных проб с записями сведения заносятся в полевой дневник. Процедуру отбора придонных проб воды целесообразно совмещать с отбором проб донных

отложений (комплексное опробование точки наблюдений). Подъем на борт проб воды и грунта, а так же их предварительная документация происходит одинаково. В методическом плане океанологические наблюдения целесообразно проводить одновременно с обследованием водопунктов.

14.6. Геологические наблюдения

Объектами геологических наблюдений являются современные донные осадки и выходы на поверхности дна коренных горных пород. Последние встречаются относительно редко и представляют особый интерес. Обычно они перекрыты чехлом современных морских осадков, причем вскрытие их в подводных условиях с помощью горных выработок (расчисток, канав, шурфов), как правило, не представляется возможным.

При планировании работ в состав рекомендуемых подводных маршрутных геологических наблюдений следует включать только реально выполнимые операции. При прохождении маршрута геологом:

- отмечается положение границ современных донных отложений разного литологического состава и крупности частиц, характер смены границ (резкий, постепенный, чередование пятен, полос, участки активного движения современных наносов);
- производится визуальная классификация пород;
- фиксируются различные инородные включения, например галечные, а также крупные инородные глыбы-олистолиты и кластолиты, их размеры, элементы залегания и литологический состав;
- отслеживаются границы выходов коренных пород на дне;
- с помощью горного компаса в прозрачном пластиковом боксе измеряются элементы залегания;
- производится визуальная классификация пород; одновременно отмечается структура, текстура, цвет, наличие фауны, характер и степень эродирования;
- отмечаются густота и ориентировка трещин, степень их открытости, линейные размеры, состав заполнителя;
- фиксируются дизъюнктивные нарушения, зоны дробления и смятия;
- с помощью зубила и металлического молотка отбираются образцы пород;
- намечаются маршруты прослеживания, ориентированные на простираание контактов, маршруты оконтуривания обнажений.

Визуальные оценки расстояний, размеров предметов под водой, за счет преломления кажутся большими, чем они есть на самом деле. Так, оценивая визуально величину зерен или параметры трещин, следует делать поправку в сторону уменьшения, приблизительно на одну треть.

Проводя обобщение полученных геологических данных, целесообразно рассмотреть их с позиций современных понятий фациального анализа (биофациального, литофациального) используя последние изданные методические пособия, например В. В. Аркадьева [Аркадьев, 2011].

14.7. Гидрогеологические наблюдения

В задачи маршрутных исследований входит:

- изучение условий движения и разгрузки подземных вод;
- изучение фильтрационных свойств донных отложений в областях внедрения морских вод в сторону суши;
- изучение физических свойств и химического состава подземных вод в очагах субмаринной разгрузки и в зонах смешения морских и подземных вод;
- изучение характера газопроявлений (спонтанно выделяющиеся газы в виде отдельных пузырьков, струй или групп струй).

Объектами наблюдения в подводных маршрутах являются: субмаринные источники, участки активной фильтрации, газопроявлений, морфологически выраженные грифоны, придонные аномальные по температуре участки.

Факелы крупных субмаринных источников обычно достигают поверхности моря, образуя на ней характерное пятно. Факелы субмаринных источников также хорошо визуализируются под водой за счет разных оптических свойств морской и пресной воды (разные коэффициенты преломления), повышенной мутности, пузырьков воздуха. Очаги активной фильтрации обнаруживаются по перепаду температур, особенно в летнее время, когда морская вода хорошо прогрета. При описании субмаринного источника необходимо ответить на следующие вопросы:

- географическое положение водопункта, координаты;
- орографические условия места расположения водопункта;
- абсолютная отметка выхода;
- возраст и состав пород в месте водопроявления;

- состояние поверхности пород в районе водопункта (эродированность, трещиноватость, ориентация и размеры трещин, кавернозность);
- конфигурация и линейные размеры грифона, глубина относительно поверхности дна;
- наличие и состав наносов заполнителя грифона;
- размеры действующей части грифона и характер вытекания струи;
- отложения водопункта (травертины, окислы в виде корок или мелких конкреций, охристые отложения, битуминозный налет и т. д.);
- возможность проведения режимных наблюдений;
- возможность сооружения каптажных устройств.

По этой же схеме описываются не действующие в момент обследования грифоны. На песчаном дне недействующие грифоны проявляются в виде овальных углублений с более крупным песчаным материалом на дне. Иногда в них наблюдается скопление раковин *Rapa* и двухстворчатых, погибших в пресной воде. В карстующихся породах грифоны выражены в виде открытых трещин с разбросанными вокруг древесными остатками и травой (ветки, щепки, листья).

Оценка дебита субмаринных источников представляет собой отдельный (самостоятельный) вид работ (см. раздел 13.4). Такой же самостоятельный вид работ представляет оценка субмаринной разгрузки перетеканием (см. главу 12).

В отличие от наземных маршрутов, в подводных условиях видны все газопроявления. Они проявляются в виде отдельных пузырьков, струек. Встречаются также массовые газопроявления на больших площадях. В одной из бухт Тарханкутского полуострова отмечены эпизодические крупные выбросы газа. Пробы газа отбираются ручными ловушками и направляются в лабораторию (газовая хроматография). Для отбора проб спонтанно выделяющихся газов используются различные конструкции ловушек. На небольших глубинах пробы газа можно отбирать с помощью ручных ин-фильтрометров, а также с помощью специально сконструированных устройств (см. рис. 13.9).

Аномальные температурные участки в летний период, как правило, представляют собой зоны смешения (дисперсии) холодных подземных и теплых морских вод. Разность температур в 5–10 и более градусов Цельсия легко замечается водолазом. На участках с резко пониженной температурой следует отобрать пробы воды из придонного слоя для дальнейшего определения солености (общей минерализации). Целесообразно также отобрать режущим кольцом образцы донных отложений с последующим отделением поровых вод.

В полевых условиях для оценки величины солености используются солемеры различных конструкций, в том числе океанологические.

14.8. Инженерно-геологические наблюдения (экзогенные геологические процессы)

Согласно рекомендациям [Временные..., 2005], при выполнении маршрутных исследований проводится описание экзогенных явлений и процессов (оползни, карст, абразия, литодинамика и др.). В области сопряжения суши и моря, в прибрежной зоне и верхней части шельфа эти процессы отличаются особой интенсивностью и специфическими чертами. Важным моментом в их описании, которому следует уделить повышенное внимание, представляется роль гидрогенных факторов. Экзогенные процессы и явления на морских побережьях являются определяющими в формировании инженерно-геологических условий приморских территорий. Необходимость изучения этих условий диктуется, в первую очередь, практическими соображениями: безопасным строительством и эксплуатацией портовых и гидротехнических сооружений, прокладкой различных коммуникаций и трубопроводов, рекреационным освоением побережий и другими.

Оползни. При описании оползней используется схема, предложенная в Справочнике по инженерной геологии [Справочник..., 1981]. Там же приведены различные, наиболее часто используемые в практике классификации оползней, и классификации факторов их возникновения и развития. Регулярные наблюдения за оползневыми процессами выполняются оползневыми станциями, гидрогеологическими и инженерно-геологическими партиями. Материалы этих наблюдений в виде производственных геологических отчетов должны быть тщательно изучены перед проведением полевых маршрутных исследований.

Возникновение, развитие и подвижки оползней на морских побережьях, в том числе катастрофические, в значительной степени обусловлены гидрогенными факторами: сгонно-нагонными явлениями, иногда совпадающими с приливами и сейшмами и штормовым волнением. Первые два фактора способствуют абразионному размыву языковой части оползней, расположенных под уровнем моря. Размыв сопровождается принудительным обрушением и оползанием пород в глинистых клифах, что практически исключает стадию временной стабилизации оползневых тел. Воздействие штормового волнения на устойчивость оползней проявляется [Юровский, 1999]:

1. В снижении пригрузки языковой части оползня за счет разуплотнения пород и выноса их части волновыми течениями;
2. В передаче волновых нагрузок на тело оползня, сравнимых с работой мощного низкочастотного вибратора.

Масштабы волнового воздействия во время шторма уверенно фиксируются методом естественного импульсного электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ) или с помощью косы сейсмодатчиков, расположенных по нормали к линии уреза. Как правило, во время шторма частота и величина ЭМИ возрастает в местах будущих сколов, отрывов и трещин перед подвижкой оползня. В подводных маршрутах следует обратить внимание на состав пород, слагающих языковую часть оползня, наличие крупнообломочного материала и водопроявления, обычно выражающиеся в виде малодобитных субмаринных источников (характеристика обводненности оползневых тел). В надводных маршрутах – на состояние клифа, наличия в нем волноприбойных ниш, ширину прилегающего пляжа. По заранее изученным материалам сейсморазведки в прибрежной зоне и на шельфе следует обратить внимание на крупномасштабные гравитационные явления в виде олистостром. В береговой зоне и на Крымском шельфе таковые были впервые обнаружены и описаны В. В. Юдиным [Юдин, 1995, 2001 а].

Отдельным фактором вызывающим подводные оползни являются даже незначительные землетрясения. В главной сейсмогенной зоне, расположенной в акватории южнее Крыма, они происходят 2–3 раза в год и чаще силой 1–3 балла. Мелкие события донными сейсмографами в основании батиаля фиксировались каждый час. Сейсмические волны от землетрясений могут приводить к тиксотропии рыхлых осадков и к увеличению их подвижек, в том числе смещению отдельных олистолитов. Кроме того, значительную роль играет переувлажнение приморской территории в результате сильных ливней. Оно приводит к селям и крупным обвалам клифов, которые выбрасываются в мелководную зону на значительное расстояние (например селевой поток на р. Ускут в юго-восточном Крыму образовал остров протянувшийся до 0,4 км от берега). Подводные работы во время паводков следует запретить, особенно в устьях селевых рек.

Карст. Карстовые явления описываются в пределах субаэральной и субаквальной частях прибрежной зоны. Подводные и приуроченные карстовые формы зачастую имеют специфический характер за счет особенностей процессов химического растворения и выщелачивания.

лачивания, протекающих в зоне смешения пресных карстовых и соленых морских вод. В приурезовой части на мезоформы карстового рельефа накладываются микроформы, образующие в известняках мелкое «кружево» ямок и сквозных отверстий [Каплин, 1973]. В береговых клифах и на подводном склоне встречаются карстовые гроты и пещеры, частично или полностью затопленные морем. В обнажениях известняков на подводном склоне нередки затопленные карстовые воронки различных размеров. Современные карстовые процессы развиваются в море только при наличии субмаринной разгрузки карстовых вод. Объясняется это тем, что морская вода почти всегда насыщена карбонатами и содержит очень мало свободной, агрессивной по отношению к известнякам, угольной кислоты. Находящиеся на подводном склоне карстовые формы имеют реликтовое (субаэральное) происхождение, то есть были образованы в период регрессии уровня моря. В тоже время, выше уреза на известняках продолжают развиваться карры, желоба и другие формы карстового рельефа.

Абразия. При проведении маршрутных исследований следует определить тип берега: абразионный, аккумулятивный, абразионно-аккумулятивный. При гидрогеологическом изучении акваторий конкретные величины абразии рекомендуется брать из литературных или фондовых источников, поскольку оценка абразии выражается в виде среднемноголетних значений.

Скорость абразии определяется либо геодезическими методами, либо повторной аэрофотосъемкой. Величина ее зависит от геологического строения береговой зоны, экспозиции линии уреза по отношению к волновому полю и, главным образом, от состава и физических свойств пород, слагающих береговую зону. Среднемноголетние значения величины абразии Украинских берегов колеблются в широких пределах: от 1–5 см/год, до 6–7 м/год. Помимо среднемноголетних значений желательна привести оценку скорости абразии за характерные периоды. Максимальные темпы абразии наблюдаются при катастрофических штормах или серии сильных штормов и могут достигать 10–12 м/год. На аккумулятивных берегах в начальной стадии шторма происходит размыв, а в фазе его затухания пляжевый рельеф в целом восстанавливается.

ГЛАВА 15. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

15.1. Общие положения

Условия взаимодействия подземных и морских вод (субмаринная разгрузка, интрузии) в прибрежной зоне моря в значительной степени контролируется литодинамическими процессами. Миграция и осаждение современных наносов в цикле шторм–штиль формирует рельеф поверхности морского дна, а также вещественный и гранулометрический состав верхней части осадков, т. е. в пределах деятельного слоя. В свою очередь, гранулометрический состав определяет такие важные гидрогеологические параметры грунтов как водопроницаемость (водопроводимость) и коэффициент фильтрации. Периодическое перекрытие слабопроницаемыми отложениями очагов субмаринной разгрузки подземных вод напоминает работу «клапанного механизма» в их функционировании. Особенно наглядно эти явления проявляются в конусах выноса рек. Донные осадки с низкой водопроницаемостью также существенно влияют на масштабы интрузий морских вод в сторону суши. Таким образом, изучение гидрогеологии прибрежной зоны следует проводить в комплексе с литодинамическими исследованиями.

Литодинамика представляет собой сравнительно малоизвестный для геологов и гидрогеологов вид исследований. За полвека своего существования она выделилась в самостоятельную дисциплину, которая, к сожалению, не нашла своего места в учебных программах геологических ВУЗов. Для гидрогеологов литодинамика представляет собой совершенно новую область изучения шельфа. Поэтому, автор посчитал необходимым, помимо изложения методов, привести краткие сведения о теоретических представлениях с элементами истории этой науки.

15.2. Теоретические представления о литодинамических процессах

В перемещении и дифференциации осадочного материала в прибрежной зоне и шельфе бесприливных морей главную роль играют гидрогенные факторы: волнение и течения. Трансформация волн и возникновение волновых течений при взаимодействии водных масс и дна обуславливают диссипацию энергии волн. При этом, перемещение осадочного материала под воздействием гидрогенных факторов происходит как вдоль, так и поперек изобат в пределах деятельного слоя. Характерной чертой режима течений в прибрежной зоне является бимодальный тип распределения вероятности их направлений. Статистико-вероятностный анализ (по материалам непрерывных пятилетних наблюдений на горизонталях 10 и 60 м), приведенный в работе [Титов, 1983], показывает, что основными модами распределения являются два противоположных сектора направления течений с преобладанием одного из них. Причем обе моды направления течений 310° и 130° точно соответствуют генеральной ориентировке береговой линии. Вследствие этого, некоторая сумма миграций осадочного материала за большой промежуток времени выражается результирующей одного направления вдольберегового течения.

Наиболее сложно оценить масштабы перемещения осадочного материала по нормали к изобатам. Очевидным представляется два варианта перемещений. Первый связан с разрывными течениями, часто меняющими свое местоположение. Второй, при наличии резко выступающих мысов, у которых вдольбереговые течения отклоняются в сторону моря и увеличивают скорость. В поперечном перемещении осадочного материала наряду с гидрогенными факторами существенное, а иногда и сопоставимое с ними значение, принадлежит гравитации.

Методы литодинамических исследований отличаются большим разнообразием (повторных промеров, реперных полей, меченых частиц и др.). В принципе, их можно разделить на две группы: гидродинамические и балансовые. В гидродинамических методах основное внимание уделено механизму перемещения осадочного материала и параметрам водного потока. Значительный вклад в развитие этой группы методов внесли В. В. Лонгинов (1973), И. О. Леонтьев (1989), Н. А. Айбулатов (1990), П. А. Волков (1965) и др. В работах перечисленных авторов подробно рассматриваются ги-

дрогенные факторы, влияющие на характер перемещения частиц: во взвешенном состоянии, влечением, сальтацией. Среди гидрогенных факторов главными являются параметры волнения и течений, турбулентность, особенности взаимодействия морских волн с дном и некоторые другие. Количественные значения параметров получают расчетами на основе полуэмпирических и эмпирических выражений, полученных в ходе многочисленных натуральных и лабораторных экспериментов.

Наибольший вклад в развитие балансовых методов внес Ю. Д. Шуйский. Теоретические и практические вопросы исследования баланса наносов изложены им в работах [Шуйский, 1981, 1986], в том числе для Черноморского побережья Украины [Шуйский, 2002, 2005]. Практическое использование метода заключается в решении уравнения баланса осадочного материала с количественным определением элементов приходной части (поступление твердого вещества в прибрежную зону от разных источников) и расходной (потери твердого вещества).

Отметим одно важное обстоятельство: при всем многообразии методов литодинамических исследований среди них нет ни одного имеющего гриф КНД (руководящего нормативного документа), или хотя бы официального ведомственного утверждения. Большинство используемых приборов, например седиментационных ловушек, наносоуловителей и других, изготавливались по индивидуальным проектам и не проходили метрологический контроль. Государственным стандартам соответствуют только часть океанологических приборов: эхолоты различных конструкций, термометры и термобатометры, различные морские вертушки, включая БПВ, пробоотборники грунта (ударные и вибропоршневые трубки) и некоторые другие. При таком положении дел сравнение результатов исследований, проведенных различными авторами, даже по аналогичным методикам, в принципе не корректно. При анализе данных о литодинамике приходится в качестве оценки использовать такие критерии, как тщательность и полнота исследований, продолжительность режимных наблюдений и другие качественные показатели. Количественные же оценки могут считаться достоверными только в порядковом смысле, или как качественные характеристики. Учитывая выше изложенное, рассмотрим более подробно основные подходы (методы) применительно к задачам наших исследований.

15.3. Методы полевых исследований

15.3.1. Меченые пески

Подготовка натурального эксперимента включает в себя следующие операции:

1. Определение доминирующей (опорной) фракции для данного участка прибрежной зоны методом ситового анализа.
2. Выделение ситовым методом опорной фракции в количестве не менее 1 м^3 , а при интенсивном перемещении песков до 4 м^3 .
3. Окрашивание всего объема отсеянной фракции люминофором или в равных пропорциях несколькими люминофорами в растворе агар-агара. Процедура окрашивания обычно проводится небольшими порциями, так как одновременное окрашивание всего объема песка не гарантирует окраски всех частиц.
4. После окраски песок укладывается тонким слоем на ровную поверхность для просушивания. В процессе сушки красителя песок постоянно перемешивается, чтобы избежать слипания и агрегирования частиц.

Подготовка эксперимента включает в себя выбор точки запуска индикаторных песков. Она должна располагаться в поле устойчивого развития песчаных отложений на подводном склоне, вдали от участков разрывных течений и забурунивания волн. На берегу заранее разбивается геодезическая сеть, и устанавливаются створные знаки для привязки точек опробования. Геодезические работы существенно упрощаются при использовании приборов GPS. Для проведения измерений наиболее рационально использовать два приемника GPS марки Trimble-4600LS. В акватории и при рекогносцировочных измерениях вполне допустимо использовать приборы меньшей точности, например Garmin Trex Vista. К моменту запуска на участке проведения эксперимента организуются наблюдения за параметрами волнения и течений, направления и скорости ветра в приземном слое.

Запуск меченых песков производится одновременно путем освобождения всего объема песка на дне водолазом, а не высыпанием его с борта судна; на время запуска должна быть устойчивая погода с волнением не превышающим 2–3 балла.

После запуска, в направлении действующего на момент эксперимента вдольберегового течения проводится несколько серий опробования по створам или сетке заранее намеченных точек. Время каждой серии пробоотбора должно быть максимально сокращено, так

как скорость перемещения меченых частиц может достигать 2 и более км/час. В любом случае, для каждой точки опробования рекомендуется вводить временную поправку, а массовое распределение перемещенных частиц относить к некоторому условному времени.

Основными факторами, осложняющими интерпретацию результатов эксперимента, являются: групповой характер переноса частиц и захоронение их в верхнем слое донных осадков (деятельный слой). Первый фактор устраняется более густой сетью опробования. Второй фактор учитывается при количественном анализе числа обнаруженных частиц. Учет этот достаточно условный, так как скорость захороненных частиц на нижней границе деятельного слоя падает до нуля.

Подсчет меченных люминофорами частиц в каждой пробе проводится визуально под бинокуляром. Для этого пробы вначале высушивают, затем они квартуются и помещаются под источник ультрафиолетового излучения. Процесс подсчета отличается крайней трудоемкостью. Следует учитывать, что большая часть красителя, покрывающего частицу, истирается в процессе ее перемещения. Люминофор присутствует в виде небольших пятен в неровностях частиц или в трещинах. Кроме того, многие минералы люминесцируют при ультрафиолетовом облучении, и следует различать люминесценцию красителя и минеральных частиц. Операцию подсчета рекомендуется проводить малыми порциями с перерывами, так как ультрафиолетовый свет вредно действует на глаза.

Несмотря на трудоемкость, эксперименты с мечеными песками необходимо повторять, охватывая возможно большее число гидродинамических и синоптических ситуаций. К последним относятся: смена направления вдольбереговых течений, смена параметров волнения и угла подхода фронта волны к берегу, нагонные и приливо-отливные явления. При повторных экспериментах рекомендуется менять цвет красителей.

К положительной стороне метода можно отнести экспериментальное определение скорости движения морских наносов на разных глубинах и при разных гидродинамических условиях. К отрицательной – чрезвычайную трудоемкость и высокую стоимость выполнения экспериментов.

15.3.2. Реперные поля

Скорость протекания процессов аккумуляции морских наносов и донной абразии могут оцениваться по данным реперных наблюдений. Реперы на подводном склоне устанавливаются на жестко огра-

ниченных полигонах. Размещение реперов (установка) проводится по «конверту» или по профилям, протягивающимся до морской границы прибрежной зоны. Конструкция реперов достаточно проста – это металлические штыри с оголовком длиной полтора метра. Штыри забиваются в грунт на две трети или половину длины в зависимости от интенсивности деформаций поверхности морского дна. Наблюдения за изменениями отметок морского дна проводятся в легкоподъемном снаряжении с помощью линейки или рулетки. Сроки наблюдений желательно назначать не календарные по декадам или месяцам, а по реальным циклам шторм – штиль. В этом случае определяется суммарный результат воздействия всех фаз конкретного шторма (с учетом его силы, направления, угла подхода волн к берегу, стонно-нагонных эффектов и продолжительности) на изменение отметок дна. Для увязки океанологических и литодинамических условий рекомендуется одновременное наблюдение за синоптической обстановкой и за параметрами волнения. При этом часть данных можно получить от расположенной вблизи полигона морской гидрометеорологической станции или поста (скорость и направление ветра, высота волны и др.).

Положительной стороной метода «реперных полей» является простота получения ценной информации о движении морских наносов и деформациях дна. По сравнению с другими методами изучения литодинамических процессов, стоимость изготовления оборудования (реперов) чрезвычайно мала.

Недостатком метода является дискретность измеряемых величин. Заранее определить репрезентативные точки наблюдений практически невозможно. Часть наблюдений может быть забракована в зоне перемещения вдольбереговых подводных валов, гидробарханов, постоянно меняющихся участков образования крупных рифелей и других особенностей литодинамики в районе полигона. При увеличении количества реперов существенно возрастает объем дорогостоящих подводных работ и затраты на их установку. Установка реперных полей на пляжах рекреационных побережий представляет угрозу для купающихся. Наблюдения могут проводиться лишь в зимний период с обязательным последующим извлечением реперных устройств.

15.3.3. Седиментационные ловушки и батометры

Стационарные седиментационные ловушки устанавливаются на двух–трех фиксированных горизонтах. Закрепляются они

на мачтах или других жестких конструкциях в пределах полигона, обычно в сочетании с реперными устройствами. Несмотря на то, что конструкции седиментационных ловушек отличаются большим разнообразием, ни один тип ловушки не стандартизован и не имеет метрологического сертификата. Сертифицированы только наносоуловители или так называемые донные батометры для изучения стока речных донных наносов (batimетры «Дон», ЦНИИС, Шамова и др.).

По назначению седиментационные ловушки разделяются на две группы – для улавливания влекомых и взвешенных наносов. Опыт использования ловушек для влекомых наносов показывает, что все они не совершенны в конструктивном отношении. Часть попадающих в них наносов обязательно вымывается турбулентными вихрями, причем проконтролировать этот процесс невозможно. На эту особенность приборов, предназначенных для изучения движения донных наносов, обратил внимание еще Г. И. Шамов (1959), сам являющийся конструктором донных батометров. Жесткое крепление ловушек при смене направления течений в прибрежной зоне только усиливает эффект вымывания. Данные, полученные с помощью седиментационных ловушек, крайне ненадежны, поэтому целесообразно вообще отказаться от их использования.

Вторую группу представляют собой батометры, предназначенные для количественной оценки перемещения взвешенных веществ. Конструктивные особенности как стандартных отечественных, так и зарубежных приборов («Seabed», «Riverbed») не позволяют использование этих приборов на малых глубинах. Кроме того, отбор проб морскими батометрами осуществляется практически мгновенно. Такой способ отбора пробы в условиях турбулентной среды и неоднородности потоков взвешенного вещества не надежен. Здесь, более целесообразно использование речного батометра-бутылки в варианте крепления на тросе. Наблюдения с помощью батометров в прибрежной зоне можно проводить только в штилевых условиях или при слабом волнении, в то время как основная масса взвешенных частиц мигрирует во время шторма. При наличии эстакад или платформ можно проводить наблюдения за мутностью и в шторм. Однако устройство этих сооружений очень дорогостояще и крайне редко применяется в мировой практике. Для изучения характера движения взвесей в последнее время применяется мутномер конструкции МГИ НАН Украины. Этот прибор значительно упрощает и ускоряет проведение наблюдений.

15.3.4. Повторные промеры и грунтовые съемки

Оба вида работ, указанных в подзаголовке, рекомендуется выполнять в комплексе, последовательно друг за другом. Наблюдения проводятся в цикле шторм–штиль и начинаются сразу после окончания шторма. Параметры шторма определяются по океанологическим и метеорологическим измерениям. В результате, комплексное изучение рельефа дна, механического и вещественного состава наносов позволяют оценить воздействие конкретного шторма, продолжительностью t часов, силой n баллов и z направления, генерирующего вдольбереговые течения со скоростями v (поверхностные, средние, придонные, критические), на интегральные изменения рельефа дна и состава донных отложений.

Методика выполнения работ следующая. В пределах обозначенного на карте полигона оба вида наблюдений выполняются по заранее намеченным профилям. Профили располагаются по нормали к генерализованной линии уреза на расстоянии 100–250 м друг от друга. Выбор масштаба регламентируется линейными размерами донных образований: вдольбереговых валов, банок, гидробарханов и др. Частота отбора проб при грунтовых съемках должна быть такой, чтобы охватывать все литологические типы пород, встречающиеся на подводном склоне. Пробы грунта отбираются с помощью драги, дночерпателями типа «Океан» или более современными (модели Петерсона, Экмана, Берджа и др.).

В последние годы с появлением прецизионных эхолотов, совмещенных с системами электронного позиционирования (GPS), точность батиметрических построений значительно возросла. Одновременно сократилось время выполнения промеров и трудоемкость камеральной обработки эхограмм.

После построения батиметрических и грунтовых карт оценка активности литодинамических процессов проводится методом суперпозиции. Определяется результирующее влияние конкретного шторма на донные осадки и изменения рельефа дна. Одновременное использование методов повторного промера и грунтовых съемок позволяет получить наиболее достоверную информацию о периодических изменениях рельефа дна и состава наносов, не рассматривая сам механизм их штормовых перемещений. В комплексе этих наблюдений целесообразно предусмотреть повторные нивелировки субэриальной части пляжевых отложений и литорали в цикле шторм–штиль. По этим данным оценивается динамика пляжевых образова-

ний, величины и скорость абразионных и аккумулятивных составляющих, одновременно участвующих в переформировании пляжевых тел штормовым волнением и сгонно-нагонными явлениями. В целом, рассмотренный комплекс представляется наиболее информативным при изучении литодинамических процессов прибрежной зоны. Анализ миграции песчаного материала на подводном отмелем склоне, основанный на материалах грунтовых съемок и повторного промера, довольно подробно изложен в работе [Коротков и др., 1980]. Натурные исследования проводились в заливе Терпения (о. Сахалин).

15.3.5. Баланс наносов в прибрежной зоне использованием этих методов

Выполнение балансовых исследований производится в следующей последовательности [Шуйский, 1986]:

1. Составляется список приходных и расходных составляющих твердого вещества в прибрежной зоне.
2. Выявляются ареалы и сроки действующих факторов на перенос твердого вещества.
3. Производится количественное измерение каждого элемента. Далее полученные значения подставляются в уравнение водного баланса.
4. Производится подсчет приходной и расходной составляющей и их соотношений.
5. Выявляется тенденция литодинамических процессов и эволюция природной системы.

К приходным элементам относятся: твердый сток рек (Q), абразия клифов (A), абразия бенчей (d), органогенный материал (Ot), эоловый снос (E), антропогенное поступление материала (Nn).

Другие приходные элементы имеют локальное значение, например, продукты извержения грязевых вулканов.

К расходным элементам относятся: концентрация наносов волнового поля в аккумулятивных формах (Ob), вынос наносов разрывными и волновыми течениями (On), вынос пляжевых наносов ветром в надводные очаги эоловой аккумуляции (Ea), вынос наносов из прибрежной зоны по подводным каньонам (T), потери за счет истирания (Ki), антропогенный расход (Np).

Применительно к условиям Азово-Черноморского региона уравнение баланса наносов записывается в следующем виде:

$$Q + A + d + Ot + E + Nn = Ob + On + Ea + T + Ki + Np \quad (15.1)$$

При решении задач исследования баланса наносов необходимы экспедиционно-маршрутные исследования, данные стационарных наблюдений, сопоставление аэро-, фото- и космических снимков.

15.3.6. Моделирование

При изучении литодинамических процессов применяются как физические, так и математические модели. В качестве физических моделей используются волновые лотки и волновые бассейны. Первые результаты экспериментов, проведенных в волновом лотке, опубликованы в 1825 г. (Э. Вебер, В. Вебер). Далее, на протяжении около 150 лет волновые лотки являлись основной лабораторной установкой, на которой изучались волновые процессы и механизм переноса взвесей, влекомых и сальтирующих наносов. Основным препятствием при исследовании движения влекомых наносов на физических моделях оказались модельные коэффициенты. Например, при масштабном соотношении 1:10 вместо тонкопесчаных фракций следовало использовать алевролитовые, с совершенно иными физическими свойствами. Попытки улучшения масштабных соотношений за счет укрупнения моделей были предприняты в 50–60 годы прошлого века. Для этой цели, вблизи г. Сочи (станция берегозащитных исследований им. А. Н. Жданова) был построен волновой бассейн, оснащенный для изучения переноса грубобломочного материала. Величина модели была максимально приближена к натурным условиям. Однако, из-за высокой стоимости создания и эксплуатации такого рода модели не получили дальнейшего распространения.

При выборе математических в океанологии чаще всего использовались гидродинамические модели, в которых волновой поток описывался системой дифференциальных уравнений. В состав уравнений включались параметры волнения и компоненты скорости по двум или трем координатам. Корректное решение этих уравнений было возможно для условий условно бесконечной глубины бассейна. Попытки нахождения решений при условии конечной глубины неизбежно сопровождались либо грубыми допущениями, либо эмпирическими несоответствиями. Теоретически обоснованные решения были получены только для частных случаев, например для прибойной зоны с плавно нарастающей глубиной, выраженной специальной функцией [М. С. Лонге–Хиггинс, 1974]. Отношение к перемещению влекомых наносов все упомянутые модельные построения имеют в виде оценки величины придонных скоростей и их компонент.

Другой вариант моделирования литодинамических процессов использовали геологи. Принципиальное отличие от океанологических моделей заключалось в том, что они ориентированы на некоторые площади дна, а не на профили или токи. Основу моделей составляет постулат: при пространственно–временных изменениях любого параметра U можно опираться на анализ наиболее вероятных спектральных характеристик простейших однородных стационарных полей [Крамбейн и др., 1969]

$$U(x, y, z, t) = u(x, y, z, t) + u'(x, y, z, t) \quad (15.2)$$

где $u(x, y, z, t)$ – трендовая составляющая, определяющая детерминизм; $u'(x, y, z, t)$ – случайная компонента, определяющая стохастичность.

Пример реализации этого варианта моделирования приведен в работе [Коротков и др., 1980]. Тенденции изменения содержания мелкопесчаной фракции на подводном пляжевом склоне определялись с помощью построения трендовой поверхности отклика (относительно регрессивной поверхности тренда), то есть случайной компоненты. Для построения модели и ее интерпретации использовался обширный фактический материал, полученный в результате проведения грунтовых съемок и повторных промеров. По данным грунтовых съемок детально рассматривался гранулометрический и вещественный состав песков на всей площади полигона и его изменения после шторма. По результатам повторного промера изучались морфометрические характеристики дна с выделением областей размыва и аккумуляции. Параметры штормового волнения определялись по комплексу электроконтактных вешек и перспектометру, величина штормового нагона по мареографу.

Изучения опыта моделирования литодинамических процессов показывает, что для каждого конкретного участка прибрежной зоны следует строить свою модель, учитывающую все местные особенности транспорта наносов. Построению математической модели должны предшествовать комплексные экспериментальные исследования. О составе экспериментальных работ и их видах сказано выше. Очевидно, такой подход к построению литодинамических моделей можно считать универсальным, применимым к любым участкам морских побережий [Агарков и др., 1976].

ГЛАВА 16. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА

16.1. Задачи и общие положения

В задачи гидрогеологического изучения глубоководной части шельфа входит:

- уточнение морфологических границ шельфа;
- определение генетического типа шельфа;
- уточнение геологического строения;
- определение мощности (толщины) современных донных отложений;
- положение и тип разрывных тектонических нарушений, и степень дислоцированности пород;
- выделение водоупорных толщ и коллекторов;
- гидрогеологическая стратификация;
- предварительная оценка литологического состава и геохимических особенностей верхней части разреза современных донных отложений;
- уточнение химического состава поровых вод;
- определение конфигурации, размеров и геологического строения конусов выноса крупных и средних рек;
- определение положения и размеров палеорусел на шельфе;
- определение местоположения площадей массового выделения спонтанных газов;
- определение местоположения грязевых вулканов.

Для удобства и систематизации материалов, ранее проведенных исследований, рекомендуется составление банка данных к каждому листу ГГДП – 200. Исходными материалами для предварительных оценок являются производственные и научные отчеты различных территориальных геологических учреждений и Академии наук Украины, а также многочисленные публикации в открытой печати.

Среди фондовых материалов, в первую очередь, подлежат изучению отчеты о проведении геологических съемок шельфа масшта-

ба 1: 200 000. В них приводится обширный фактический материал по геофизическим исследованиям, бурению и пробоотбору донных отложений, геохимии осадочных пород, физическим характеристикам и химическому составу морских вод. Геологические и вспомогательные карты являются основой для проведения гидрогеологического изучения шельфа.

Из публикаций следует выбирать, в первую очередь, фундаментальные и обобщающие работы, такие как многотомное издание Института геологических наук «Геология шельфа УССР» под редакцией академика Е. Ф. Шнюкова, в которой проанализированы и обобщены все материалы геологических и гидрогеологических исследований до 1986 года. Геохимии морских вод и донных отложений посвящена монография [Митропольский и др., 1982], а также эколого-геохимическим проблемам Черного моря другая работа [Митропольский и др., 2006]. Вопросы геодинамики и тектоники Азово-Черноморского и Черноморско-Каспийского регионов рассматривались на ряде международных совещаний с публикацией обобщающих материалов и тектонических карт [Герасимов и др., 2008]. Новейшие представления о тектонике и геодинамике Черноморско-Каспийского региона приведены в работе [Юдин, 2008, 2011]. Проблемы региональных геологических исследований, в том числе морских, а также вопросы составления Государственной геологической карты масштаба 1: 200 000 подробно обсуждались на научно-практических совещаниях [Регіональні..., 2001] и др. Появились обобщающие работы об изменениях уровня Черного, оценки качества вод и шельфовых экосистем, методов и средств контроля морской среды [Иванов и др., 1984, Современные..., 2006] и ряд других публикаций.

Исходными данными для предварительного анализа минералогического состава донных отложений и поровых вод являются материалы научно-исследовательских работ в акватории, выполненных Академией наук Украины. Во время многочисленных рейсов НИС отбирались пробы донных осадков с помощью драг и грунтовых трубок. Некоторые работы были целиком посвящены морским гидрогеологическим исследованиям [Коников и др., 1986, Морские..., 1992].

Важное значение в изучении геологического строения шельфа имеют материалы отечественных и зарубежных геофизических исследований. На всем украинском шельфе проводились сейсморазведочные работы, в том числе для изучения нефтегазоносности. Украинский шельф Черного моря целиком покрыт сейсморазведочными профилями в масштабе 1: 200 000 фирмой Вестерн. Матери-

алы сейсмопрофилирования переданы Украине и нуждаются в переинтерпретации. На отдельных участках акватории проводились детальные сейсморазведочные работы и другие виды геофизические исследования: магниторазведка, гравиразведка, термосъемки.

Существенную помощь в гидрогеологическом изучении шельфа могут оказать материалы разведочного бурения, проводившегося в разные годы на нефть и газ, стройматериалы. Например, при разбуривании газоносных структур в Черном море (район полуострова Тарханкут) опробовано несколько водоносных горизонтов палеогена и мела. В Азовском море буровой скважиной вскрыты напорные пресные воды с самоизливом [Масляков, 1999] и т. д.

Отдельные участки Черноморского шельфа изучались с помощью подводных обитаемых аппаратов (ПОА). К ним относятся «Север-2», «Лангуст», «Омар», «ТИНРО-2», «Риф», «Бентос-300». С помощью этих аппаратов исследовались подводные грязевые вулканы, поля спонтанного выделения газа, газовые факелы и другие подводные объекты, проводились биологические, ландшафтно-экологические наблюдения. Результаты этих работ опубликованы в открытой печати и представляют несомненный интерес для гидрогеологического изучения шельфа. Ряд ПОА позволяет не только проводить визуальные наблюдения, но и отбирать пробы воды, грунта, газа. То есть фактически выполнять подводные маршрутные исследования в глубоководной части акватории.

Цели и задачи многих приведенных выше работ в акваториях шельфа, казалось бы, не имеют ничего общего с задачами гидрогеологического изучения шельфа. Однако, эти разрозненные фрагментарные элементы информационного поля позволяют получить более полное и всестороннее представление об объекте исследований.

Например, на ряде участков Украинского шельфа обнаружены проявления и залежи природных газовых гидратов. Низкая проницаемость гидратосодержащих пород для молекул воды и газа (ниже проницаемости глин) делает их естественными флюидоупорами, тем самым исключая субмаринную разгрузку подземных вод [Чистяков, 2008]. То есть, присутствие газогидратов кардинально меняет коллекторские свойства водовмещающих пород.

Необходимо подчеркнуть еще одно важное обстоятельство – чрезвычайно высокую стоимость всех видов морских работ, особенно подводных. Исходя из этого, сбор информации по изучению шельфа должен проводиться с особой тщательностью. Все материалы должны строго классифицироваться по дисциплинарному при-

знаку, объемам, целевой направленности и другим признакам. Именно поэтому представляется целесообразным создание ведомственного банка данных со свободным доступом к нему всех исполнителей геологических и гидрогеологических работ в морских акваториях. Попытки такого рода уже предпринимались различными организациями, но доступа к этой информации нет.

После всестороннего изучения материалов предшествующих работ можно приступить к планированию морских работ по гидрогеологическому изучению глубоководной части шельфа. Организационные вопросы, порядок планирования и составление проектной документации, этапность и некоторые другие вопросы целесообразно выполнять согласно [Методичне, 2006]. В рабочих планах и программах рекомендуется предусмотреть: 1 – выделение участков шельфа перспективных для изучения взаимосвязи подземных и морских вод; 2 – обоснование комплекса полевых наблюдений.

Перспективными участками для непосредственного изучения взаимодействия подземных и морских вод являются выходы водоносных горизонтов на поверхность шельфа, зоны крупных разрывных тектонических нарушений, палеорула рек, участки развития грязевого вулканизма и площади с активным выделением спонтанных газов. Положение на дне участков выхода водоносных горизонтов определяется путем анализа геофизических исследований и геологического строения. Целесообразно при этом оценить толщину современных донных отложений, перекрывающих коренные водовмещающие породы.

Положение и параметры разрывных тектонических нарушений определяют по современным тектоническим картам и уточняют по сейсморазведочным данным. Уточнение положения разрывов необходимо по двум причинам: различий в масштабах имеющихся тектонических карт и различий в трактовке тектонического строения шельфа разными авторами и разными авторскими коллективами. Последнее особенно сложно, так как существуют принципиально разные, порой прямо противоположные концепции тектонических движений, и, соответственно, рисовки разрывов на карте. Крупные разрывы и примыкающие к ним приразрывные (приразломные) зоны, как правило, представляют собой каналы вертикальной миграции флюидов, в том числе глубинных. Часть исследователей считает, что ширина приразломных зон варьирует от сотен метров до первых километров. Профили наблюдений следует назначать в крест простирания изучаемых структур с дополнитель-

ными профилями прослеживания по простиранию. Расстояние между профилями – 2 км.

Палеоруслы, грязевые вулканы и площади спонтанно выделяющихся газов, обнаруженные при предшествующих исследованиях, требуют дополнительного изучения и картирования. В задачи изучения входит определение точного географического положения объектов (географических координат), интенсивности функционирования на момент обследования, уточнение конфигурации палеорусл и газифицируемых участков, определение химического состава поровых вод и спонтанных газов.

Определение необходимого и достаточного комплекса работ осуществляется с учетом гидрогеологической изученности объекта исследований и конкретных геологических условий района. Эта работа должна осуществляться на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО). Обычно, высокая стоимость эксплуатации судна диктует использование максимально полного набора методов исследований. При этом следует избегать «холостых» и дополнительных галсов.

16.2. Комплекс полевых работ при гидрогеологическом изучении шельфа

На перспективных для гидрогеологических исследований участках шельфа рекомендуется следующий комплекс работ:

- профильные наблюдения с использованием пашущего зонда;
- сейсмоакустическое профилирование;
- отбор проб грунта с помощью драг и дночерпателей;
- отбор проб донных отложений с помощью прямоточных и вибропоршневых грунтовых трубок с последующим изучением состава пород и поровых вод;
- определение температуры грунта, измерение температурных градиентов в донных осадках и их теплофизических свойств в естественных условиях;
- отбор проб воды из придонного слоя с помощью батометров.

Использование пашущего зонда позволяет одновременно в записи получать информацию о температуре и электропроводности (солености) воды, что позволяет отказаться от отдельно проводимого термопрофилирования (термоволочек).

Сейсмоакустическое профилирование производится параллельно с записью глубин судовым эхолотом. В последнее время наибо-

лее информативными считаются исследования, проводимые с использованием эхолотного комплекса SIMRAD и гидроакустического комплекса ГАК «БУК».

Опробование донных отложений с помощью драг и дночерпателей позволяет получать сочетание бороздовых и точечных проб.

Диаметр прямоточных грунтовых трубок, их длина и вес утяжеляющих грузов зависят от мощности судовой лебедки, глубины водоема, состава и плотности донных отложений. Обычно, при использовании прямоточных грунтовых трубок, состоящих из трехметровых штанг диаметром 100 мм и утяжеляющего груза в 100–150 кг, длина керна поднимаемого на борт судна составляет от 1–1,5 м для песков и до 3–5 м для илов. Применение прямоточных грунтовых трубок лимитируется глубиной воды. На малых глубинах целесообразно использовать поршневые и вибропоршневые грунтовые трубки. Однако применение таких трубок существенно повышает требования к судовым спуско-подъемным механизмам. Для глубоководных гидрогеологических исследований целесообразно использовать грунтовую трубку, конструктивно доработанную Украинским государственным научно-исследовательским институтом гидрометеорологии (рис. 16.1).

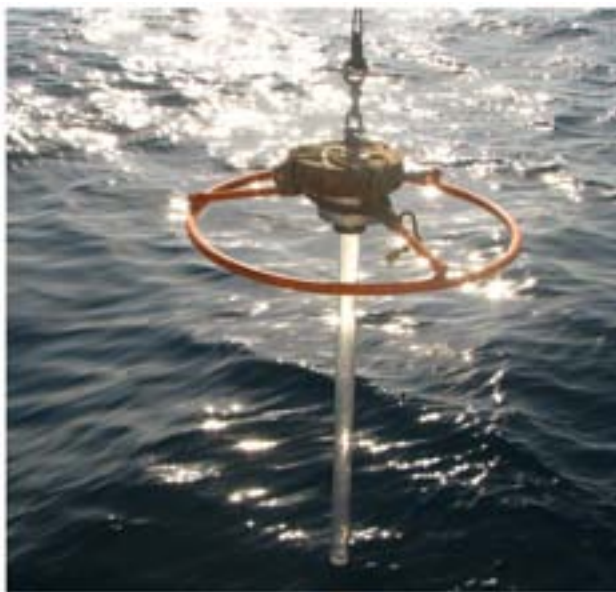


Рис. 16.1. Грунтовая трубка для глубоководных гидрогеологических исследований.

Опробование донных грунтов с помощью грунтовых трубок целесообразно совмещать (комплекс наблюдений на одной той же станции) с наблюдениями температуры, градиентов температуры и величины теплового потока, используя термоградиентографы. Наблюдения можно проводить с использованием разработанной в Украине (Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины) универсальной морской геотермической станции ИГ-1 М [Осадчий и др., 1979]. В последние годы геотермические исследования проводятся с использованием современного телеметрического измерительного комплекса «Геос-2». Комплекс позволяет измерять температуру в пяти точках, через 0,45 м до глубины разреза 2,5 м, и теплопроводность осадков в условиях их естественного залегания.

Оптимальными для проведения морских гидрогеологических исследований являются специализированные суда, оснащенные бортовыми лабораториями. В судовых лабораториях рекомендуется проводить определение коэффициента фильтрации с помощью фильтрационной трубки СПЕЦГЕО. Из колонок грунтов по интервалам отбирать образцы для оценки фильтрационных свойств, естественной влажности, отжатия или центрифугирования поровых вод. В лаборатории для поровых растворов сразу же определяются такие нестойкие показатели как pH и Eh, наличие и концентрация сероводорода и радона, а также общая минерализация.

Непосредственно в судовых лабораториях обрабатываются пробы воды, отобранные с помощью батометров и термобатометров. В них также определяются нестойкие компоненты, производится дегазация и консервация для последующего определения макро- и микрокомпонентного химического и изотопного (стабильные изотопы) состава в стационарной лаборатории.

Важной методической составляющей проведения морских исследований является осуществление постоянного контроля текущих показаний (*in situ*) заборных измерительных комплексов (пашущий зонд, термоградиентографы, сейсмоакустика) и выполнение химических экспресс-анализов в судовых лабораториях. Полученная таким образом информация позволяет корректировать ход морских работ, обоснованно назначать дополнительные станции, перепроверять (дублировать) экстремальные показания и т. д. Тем самым повышается достоверность получаемой информации и достигается экономия средств за счет сокращения заверочных рейсов. Поэтому, при выборе НИС предпочтение следует отдавать судам, оснащенным специальным оборудованием и судовыми лабораториями.

16.3. Техническое обеспечение полевых работ

Техническое обеспечение гидрогеологического изучения шельфа представляет собой отдельную проблему. В настоящее время для исследования глубоководной частей акватории могут быть предложены два варианта исследований:

1. Профильные исследования в масштабе 1 : 200 000 с помощью пашущего зонда в сочетании с легкой геофизикой (сейсмоакустика).
2. Профильные исследования в том же масштабе геотермии в сочетании с сейсмоакустикой.

Для обеспечения работ в первом варианте требуется изготовление пашущего зонда с соответствующими техническими и конструктивными доработками. По существу, это самостоятельная научно-техническая задача, требующая серьезных материальных и временных затрат. В ближайшей перспективе это невыполнимо. Второй вариант представляется более реальным, поскольку целиком базируется на аппаратуре и приборах отечественного изготовления. Кроме того, практически не нуждаются в конструктивной доработке сейсмоакустическая аппаратура, термоволочек, термоградиентографы и геотермические станции. Требуют частичной модернизации лишь коммуникации и регистрирующие устройства (комбинации записи на бумагу и электронные версии). Необходимо также создание программного обеспечения для накопления информации на современных носителях и обработки ее на персональных компьютерах.

При проведении исследований в глубоководной части шельфа потребуются грунтовые трубки (ударного типа или вибропоршневые) и батометры. Эти приборы серийного изготовления имеются на украинских исследовательских судах и широко применяются в практике морских исследований. Гораздо менее информативно использование пробоотборников грунта других конструкций – типа драг и дночерпателей. Отбор проб проводится на профилях с интервалом не менее 2 км. Следует также предусмотреть дополнительные профили и учащенные наблюдения (пробоотбор) в зонах разрывных нарушений, палеоруслах, на площадях газопроявлений и грязевулканической деятельности.

Информативность полевых работ за счет широкополосных наблюдений можно значительно повысить, используя локаторы бокового обзора (ЛБО).

Перечисленные выше приборы и устройства представляют собой необходимый и достаточный комплекс для выполнения работ по гидрогеологическому изучению шельфа.

ГЛАВА 17. МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОЦЕНОК В ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

17.1. Общие положения

Экологические оценки природных вод базируются на понятии качества. К основным показателям качества воды относятся физические, бактериологические, гидробиологические и химические характеристики. К физическим характеристикам относятся: запах, прозрачность, цветность, содержание взвешенных веществ, температура, плотность. К бактериологическим (микробиологическим): колииндекс, колититр, численность колифагов и др. К гидробиологическим: степень насыщения воды органическими веществами, видовое разнообразие, первичная продукция. Химические показатели качества воды делятся на общие и специфические. К общим показателям относят: содержание растворенных газов: кислорода, азота, углекислого газа; содержание фосфора, содержание органических веществ (по БПК и ХПК), концентрацию ионов водорода – рН, минеральный состав растворенных солей. К специфическим показателям качества воды относят: содержание микрокомпонентов и веществ загрязнителей – фенолов, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ, пестицидов, гербицидов, тяжелых металлов. Нормы качества воды, используемой для коммунально-бытового, хозяйственно-питьевого, рекреационного и рыбохозяйственного водопользования, различаются. Однако, проверка качества воды производится не по всем возможным показателям. Например, не производится анализ содержания диоксина.

Различают пять основных видов загрязнения:

- бактериальное;
- химическое;
- радиоактивное;
- тепловое;
- механическое.

Бактериальное (или микробное) загрязнение возникает при попадании в воду различного рода бактерий и вирусов. Такой тип за-

грязнение характеризуется числом бактерий, содержащихся в 1 мл воды. Определить их весьма затруднительно из-за небольшого их количества и разнообразия. Поэтому для оценки качества воды в санитарно-эпидемиологическом отношении определяют содержание в воде бактерий, называемых кишечной палочкой. Сама по себе она безвредна, но наличие в воде кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды хозяйственно-фекальными сточными водами и, следовательно, о возможности попадания среди других и болезнетворных бактерий [Санитарные..., 1988]. Нормы содержания бактерий регламентируются ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая».

Химический состав веществ загрязнителей очень разнообразен. По разным оценкам количество примесей в природных и сточных водах достигает миллиона наименований Кравченко, Собина, (1979); Крайнюкова, (1984) Из них нормировано только 0,1 % от их общего числа. Еще меньше, порядка 10 % от нормированных, обеспечено методами анализа на уровне ПДК.

Современные стандарты на питьевую воду в странах СНГ и в Европе оценивают содержание 31 компонента (ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая»). Кроме того, нормируются ПДК пестицидов и гербицидов по 26 показателям, ПДК 18 изотопов, предельно допустимая радиация 11 веществ. В настоящее время в Украине официально введены новые гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для употребления человеком: ДСанПиН 2.2.4–171–10, установленные Министерством охраны здоровья 12.05.2010 г и зарегистрированные Министерством юстиции 1.06.2010 г под № 452/17747.

При определении качества поверхностных вод морей в местах водопользования населения (курортно-рекреационная зона) учитывают взвешенные вещества, плавающие примеси (вещества) и запахи.

Кроме того, принимаются во внимание следующие показатели:

- Окраска, температура, водородный показатель, минеральный состав, растворенный кислород, БПК₅ и БПК_п, ХПК, наличие возбудителей заболеваний (лактозоположительные кишечные палочки, колифаги), рекомендованные СанПиН 4630–88.

- Радиоактивное загрязнение связано с повышенным содержанием в водах естественных и искусственных радионуклидов.

- Тепловое загрязнение вод проявляется в повышении их температуры за пределы допустимых норм.

- Механическое загрязнение проявляется при повышении содержания в воде механических примесей – зернистых, взвешенных глинистых и коллоидных частиц.

17.2. Особенности экологии Украинской части шельфа

В мировой практике методика изучения и экологической оценки состояния морских акваторий в области взаимодействия морских и подземных вод разработана фрагментарно и только для конкретных условий (США, Австралия). Возможно, это объясняется тем, что вынос загрязняющих веществ подземными водами в моря сравнительно невелик, по сравнению с другими источниками загрязнения (речной сток, сбросы промышленных и канализационных вод, загрязнение с судов и др.). Кроме того, в экологических оценках следует учитывать особенности самих акваторий и побережий: открытые океанические побережья, побережья внутренних морей, акватории бухт и эстуариев и т. д. Многие теоретические вопросы для Черного моря в этом плане рассматриваются в монографии [В. А. Емельянов и др.] К главным особенностям Украинского шельфа следует отнести следующее:

1. Пониженную, по отношению к средней океанической, соленость черноморских вод. Так, средняя соленость Черного моря, на глубине сорок метров, составляет 18,5 ‰, то есть величину почти в два раза меньшую нормальной океанической солености в 35,0 ‰. Морские воды на северо-западном шельфе еще более распреснены стоком крупнейших рек Европы Дунаем, Днепром, а также менее водными Днестром и Бугом. В районе Днестровского лимана и побережья Одессы соленость составляет 10–13 ‰, в районе Днепровско–Бугского лимана 9–14 ‰. Поскольку большинство морских организмов стеногалинные, Черное море выделяется резко ограниченным видовым составом биоты (стеногалинные организмы могут существовать при солености не ниже 25 ‰). Еще более распреснено Азовское море. В районе Керченского пролива, из-за влияния черноморских вод, соленость составляет 11–13 ‰, а вблизи устья реки Дон снижается до 3–5 ‰. Поэтому в Азовском море доминируют пресноводные организмы (олигогалинные, эвригалинные, мигранты).

2. Наличие сероводородной зоны в Черном море, верхняя граница которой в среднем по бассейну располагается на глубине около 200 м. Агрессивная сероводородная среда исключает возможность существования в ней нормальных биоценозов. Биота в этой зоне представлена, главным образом, сероводородными бактериями. В донных осадках сероводородной зоны содержание сероводорода достигает 100 мг/л, в исключительных случаях до 121,4 мг/л [Митропольский и др., 1982].

Указанные выше природные особенности сформировались в течение недавнего времени (не более 20 тыс. лет) в процессе эволюции Азово-Черноморского бассейна. Первую особенность по отношению к Черному морю, с точки зрения экологии, можно рассматривать как «естественное загрязнение», ограничивающее развитие нормальной океанической биоты. Ограничение видового состава водоема в свою очередь существенно уменьшает биологическую устойчивость к внешним воздействиям. Вторая особенность – наличие сероводородного заражения – фактически ограничивает проведение экологических исследований на глубинах более 200 м. Азовское море следует рассматривать как крупный природный эстуарий, со всеми присущими особенностями развития эстуарной биоты, гидрогеохимии речного стока, специфическими особенностями осадконакопления и др. Наиболее полно все эти особенности описаны в книге Г. А. Сафьянова «Эстуарии» [Сафьянов, 1987].

Влияние гидрогеологических факторов на экологию морских бассейнов, очевидно, проявляется, главным образом, в областях субмаринной разгрузки подземных вод. Выражается оно в изменении гидрохимических показателей поровых вод, а так же геохимии донных отложений. То есть по существу, зоны разгрузки являются геохимическими барьерами. В очагах активной субмаринной разгрузки (субмаринные источники) могут наблюдаться гидрохимические аномалии как в придонном слое, так на поверхности моря.

Общепринятых подходов и методики оценки экологического состояния геологической среды в зонах субмаринной разгрузки подземных вод не существует как в Украине, так и за рубежом. В Украине отсутствуют ПДК токсичных химических элементов и соединений, содержащихся в донных отложениях. Между тем, как и на других геохимических барьерах, часть токсикантов должна выпадать из раствора, а часть сорбироваться тонкодисперсными фракциями. Известны лишь единичные печатные работы, посвященные биологическим следствиям субмаринной разгрузки подземных вод, содержащих тяжелые металлы, серу и аммиак [Лобье, 1990, Тарасов и др., 1987].

В настоящей методике для определения экологического состояния акваторий в областях субмаринной разгрузки подземных вод предлагается следующий подход. Очаги разгрузки рассматриваются как целостная система: придонный слой морских вод → подземные воды (поровые воды) → геологическая среда (донные отложения). Рассмотрим отдельные составляющие системы.

17.3. Придонный слой морских вод

В глубоководной части шельфа Черного моря, от дна до границы сероводородной зоны, к придонному слою относится слой 1–1,5 метра от поверхности дна. Изучение его свойств проводится с помощью опробования батометрами. Пробы воды отбираются по сетке в соответствии с масштабом исследований – шаг 2 км. В прибрежной зоне, в области волнового перемешивания понятие придонного слоя условно. В этой зоне практически вся толща воды однородна и характеризуется одинаковыми физико-химическими свойствами.

Из-за своего географического положения (область сопряжения суша – море) прибрежная зона представляет наиболее загрязненный участок акватории моря, так как, в первую очередь, принимает все виды загрязнений, поступающих со стороны суши. Одновременно, прибрежная зона является областью разгрузки грунтовых вод – водоносного горизонта наиболее подверженного загрязнению. Для условий прибрежной зоны оценка качества разгружающихся и морских вод должна выполняться с использованием двух независимых друг от друга направлений: рыбохозяйственных и рекреационных. Требования к качеству воды этих направлений отличаются друг от друга из-за ведомственных подходов.

Рыбохозяйственные требования к качеству морских вод отражают позицию гидробиологов к нормальному существованию и воспроизводству гидробионтов. В Украине такие требования до настоящего времени не утверждены. В качестве основного официального документа используется «Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» [Перечень..., 1999].

Рекреационные нормативы для оценки качества морских вод основаны на санитарно-гигиенических требованиях, в первую очередь, по отношению к человеку. Учитывая, что практически все побережья Украины являются рекреационными, эти требования не менее важны, чем рыбохозяйственные. Однако в настоящее время существуют различные подходы к установлению рекреационных нормативов.

Первый подход, используемый в отечественной практике, основан на документе: «Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения» [Санитарные..., 1988]. Требования к составу и свойствам морской воды в местах водопользования населением и зонах санитарной охраны ос-

нованы на целом ряде показателей: органолептических, гидрохимических и санитарно-микробиологических (всего десять показателей). Приведем (хотя и с повторением) их полный список. Органолептические показатели включают в себя такие показатели, как наличие плавающих смесей, запах, прозрачность по шрифту Снеллена, окраску. Гидрохимические: рН, растворенный кислород (не менее 4 мг/дм³), БПК₅ (в отдельных случаях БПК_п). Санитарно-гигиенические: наличие возбудителей инфекционных заболеваний, лактозоположительные кишечные палочки (ЛКП), колиформы. Согласно документу [Санитарные..., 1988], акватории, относящиеся к морскому водопользованию, значительно больше ширины прибрежной зоны. Её установленная граница располагается на расстоянии не менее двух морских миль от уреза, то есть на расстоянии 3,9 км. Зоной санитарной охраны для районов водопользования внутренних морей является вся акватория морских вод. Граница охраняемой полосы суши, прилегающей к охраняемым районам моря, устанавливается шириной не менее 2 км.

Другой подход используется в странах Западной Европы и Северной Америки. Для определения качества вод морских рекреационных акваторий в Западной Европе рекомендуется применение норматива Европейского Сообщества ЕС 7/160, в котором предусматривается обязательное определение всего двух показателей: количество колиформ и содержание в воде *E - coli* [Council, 1976]. При этом в некоторых странах Европы вводятся свои дополнительные определения. Так для оценки качества рекреационных вод, в том числе пресных (речных), в Великобритании используются четыре показателя: содержание растворенного кислорода, концентрация ионов аммония, величина БПК₅ и биотест на токсичность. В официальных документах правительства Канады для оценки качества рекреационных вод рекомендуется определение фекальных колиформ с вычислением статистических значений геометрического среднего [Underlines, 1983]. Подобное стремление к сокращенным оценкам и уменьшению количества анализов демонстрируют и США. Подробное обоснование таких подходов приведено в работе [Quality, 1976].

Наиболее перспективным и методически правильным при определении качества морских и разгружающихся пресных вод является применение биотестирования. Предварительное биотестирование проб воды позволяет обоснованно сокращать выполнение дорогостоящих химических анализов путем простейшей отбраковки проб. Если вода нетоксична, химические анализы выполнять не обязательно, за исключением специальных исследований. Кроме того, биоте-

стирование единственный способ, позволяющий учитывать антагонистические и синергетические реакции токсикантов в виде интегрального показателя – общей токсичности воды.

В настоящее время методы биотестирования в Украине официально признаны и получают все большее распространение. Приказом министра охраны окружающей природной среды Украины утвержден ряд нормативных документов по биотестированию морских и пресных вод, в том числе разработанные ИнБЮМ для морских: КНД 211.1.4.047–95; КНД 211.1.4.055–97; КНД 211.1.4.054–97. Соответственно, наличие стандартных методов биотестирования расширяет возможности их применения, что уже нашло свое отражение в других нормативных документах. Например, постановление Кабинета Министров Украины от 11.09.96 № 1100 предусматривает при разработке нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) обязательный учет результатов биотестирования. Другой документ, непосредственно касающийся настоящей работы, представляет собой межведомственный норматив «Методика оцінки екологічної якості поверхневих вод за відповідними категоріями», введенный в действие с 01.01. 1999 года.

Оптимальным вариантом оценки качества морских и разгружающихся пресных вод при гидрогеологическом изучении шельфа представляется следующий. На первом этапе все без исключения пробы воды подвергаются биотестированию. В рекреационных акваториях они дополняются определением микробиологических показателей в лабораториях санитарно-эпидемиологических станций. Если по результатам биотестирования проб воды она оказывается не токсичной, то проведение химических анализов не требуется. Если вода токсична, проводится второй этап исследований. Пробы, отобранные в очагах субмаринной разгрузки, подвергаются химическому анализу на наличие токсических веществ (нефтепродуктов, тяжелых металлов, детергентов, ядохимикатов). На данном участке прибрежной зоны рекомендуется провести сравнительный анализ объемов и состава от береговых источников загрязнения и сопоставить данные со степенью загрязненности подземных вод. В очагах субмаринной разгрузки пресных подземных вод с общей минерализацией до 1 г/дм³ оценка качества вод проводится по действующему в Украине стандарту «вода питьевая». Для глубоководных участков шельфа (до глубины проявления сероводородного заражения, ниже которой вода заведомо токсична) достаточно определения токсичности в придонном слое. Аналогичный порядок оценки качества применим и для поровых вод.

17.4. Донные отложения и поровые воды

Анализ экологической обстановки в морских акваториях нельзя считать достоверным без оценки степени загрязнения современных донных отложений и поровых вод. Официальных документов, регламентирующих загрязненность морских донных отложений, в Украине пока не создано. Между тем, донные отложения являются своеобразным депо для накопления целого ряда токсических элементов и соединений, как естественного, так и антропогенного происхождения. В их число входят тяжелые металлы, пестициды, гербициды и некоторые другие. В областях субмаринной разгрузки подземных вод и зонах дисперсии возникают геохимические барьеры, способствующие накоплению токсических веществ в системе вода – порода. В главе 8 настоящей работы приводятся примеры накопления тяжелых металлов в донных отложениях у о. Лонг-Айленд (США), нитратов в лагуне у города Перт (Австралия) и др.

В настоящее время в Украине разрабатываются различные подходы к оценке экологической безопасности донных отложений, в том числе методами биотестирования [Дятлов и др., 1994, Петросян и др., 1989, 1995,]. Чаще всего специалисты ИнБЮМа (г. Севастополь, филиал г. Одесса) для оценки качества донных отложений используют «фактор загрязнения» (ФЗ) и «индекс степени загрязнения» (ИСЗ). Первый рассчитывается как соотношение концентраций загрязняющего компонента (C_1) и фоновой ($C_ф$), второй – как средняя геометрическая величина факторов загрязнения (главным образом, для нефтяных углеводородов и хлороформ-экстрагируемых соединений).

К существенным недостаткам таких оценок можно отнести:

1. В них не учитывается природный состав донных отложений и постоянные его изменения, вызванными литодинамическими процессами. Действительно, различные типы донных отложений (пески различного литологического состава, глины, илы и пелитовые отложения, ракушняк и детрит) по-разному адсорбируют, накапливают и десорбируют загрязняющие вещества, что вносит неопределенность при сравнительной оценке их загрязненности. В качестве авторской ремарки добавим – нами не случайно в настоящей монографии помещена глава 15, посвященная методам изучения литодинамических процессов.

2. Необходимость использования фоновых концентраций токсикантов, которые трудно определить из-за повсеместного распро-

странения загрязнений. По нашему мнению это касается, главным образом, локальных участков морских акваторий, таких как Севастопольские бухты, Одесский залив, акваторий ряда других портов и рейдовых стоянок.

В практике морских экологических исследований некоторые авторы пытаются оценить загрязнение донных осадков в естественном залегании по нормативам загрязнения почвенного слоя на суше. Такой подход представляется принципиально неверным. Аргументировать это можно следующим образом:

1. В отличие от водной среды для донных отложений практически отсутствуют нормативы, аналогичные ПДК.

2. Процессы миграции и накопления токсичных химических веществ в почвах и донных грунтах кардинально отличаются по механизму, а также способу воздействия на живые организмы. Например, в отличие от наземных растений, макрофиты (водоросли) получают питание из морской воды, а к грунту они только прикрепляются. Корневой системы они не имеют. Аналогично существуют и ряд моллюсков (мидии, баянусы и другие). Из зообентоса непосредственное влияние на жизнедеятельность загрязненных грунтов могут испытывать только роющие организмы, псаммофилы, заглатывающие и очищающие песок.

Учитывая современное состояние проблемы, отсутствие нормативных документов в Украине, качество морских донных отложений, в том числе в областях субмаринной разгрузки подземных вод, предлагается оценивать, используя ряд геолого-геохимических критериев [Юровский, 1999 б].

1. Критерий, основанный на изменении величины соотношений площадей дна с преимущественно алевритовыми и алевритоглинистыми донными отложениями с площадями, представленными преимущественно песчаными и песчано-гравелистыми отложениями.

2. Критерий, основанный на увеличении содержания $C_{\text{орг}}$ в верхней части разреза донных отложений.

3. Критерий накопления в глинистых фракциях донных осадков токсичных веществ.

Последний (третий) критерий следует рассматривать в двух вариантах. В первом варианте, для глубоководной части шельфа накопление тяжелых металлов (аномально высокие содержания) определяется как

$$C_i > C_{i\phi} + 2\sigma; \quad (17.1)$$

где C_i – аномальная концентрация i – металла, $C_{i\phi}$ – фоновое содержание металла, σ – среднеквадратическое отклонение.

Определение фоновых концентраций следует проводить отдельно для каждого субаквального геохимического ландшафта [Юровский, 1996]. Методика выделения таких ландшафтов подробно изложена в рукописной работе (Степаняк Ю. Д., Шулакова Т. И., 2008).

При картировании следует учитывать, что в зонах лавинной седиментации привнос в донные отложения токсикантов может быть на порядки выше, чем в зонах размыва и транзита. Отдельные ассоциации тяжелых металлов природного происхождения наблюдаются в зонах активных тектонических нарушений и очагах разгрузки приуроченных к ним подземных вод. Соответственно, в аналитических определениях можно рекомендовать оценку содержания лишь элементов первого класса опасности (приоритетные токсиканты) или инварианты малых ассоциаций.

Во втором варианте, для прибрежной зоны, следует учитывать ситуационные изменения концентраций, происходящие в цикле шторм – штиль. Относительные (в долях единицы) изменения концентраций приоритетных токсикантов определяются по выражению:

$$\Delta C_i = C_i/C_{i\phi}(t_2) - C_i/C_{i\phi}(t_1) \quad (17.2)$$

где t_1 – время окончания длительного штиля; t_2 – время окончания шторма; C_i – концентрация приоритетного токсиканта; $C_{i\phi}$ – фоновая концентрация токсиканта.

Фоновые концентрации токсикантов к концу периода длительного штиля должны быть выше, чем после шторма. На поверхности донных отложений при штиле накапливаются тонкодисперсные частицы, являющиеся прекрасными природными сорбентами. Автор неоднократно наблюдал, как во время штиля углубления между крупными рифелями песчаных отложений заполняются илом и пелитовыми фракциями. В разной степени тонкодисперсным материалом заполняются и другие отрицательные формы донного рельефа. Таковую особенность накопления седиментационного материала, по нашему мнению, следует учитывать в методике пробоотбора. Если пробы отбираются с судна с помощью драг или дночерпателей, то реальной картины по гранулометрическому составу наносов, слагающих участок исследований, мы не получаем. Оптималь-

ным представляется ручной пробоотбор, выполняемый по профилям в легкоодолазном снаряжении.

Во время шторма верхняя часть донных осадков в пределах деятельного слоя перерабатывается волновым воздействием и течениями. Глубина переработки в зависимости от конкретных природных факторов (уклон дна, очертания изобат, длительность и сила шторма, наличие сгонно-нагонных, явлений и др.) может меняться в широких пределах: от первых десятков сантиметров до 1–2 метров. Концентрации токсикантов при этом, как правило, уменьшаются за счет разубоживания верхнего загрязненного слоя относительно чистым минеральным материалом.

Высокие техногенные нагрузки на прибрежно-морскую зону, в том числе за счет субмаринной разгрузки подземных вод, диктуют необходимость более детального изучения экологической обстановки. В прибрежной зоне рекомендуется как минимум двукратное увеличение пробоотбора. На участках максимального загрязнения акватории (крупные города, порты, приустьевые участки крупных рек, рекреационные комплексы), а также в очагах разгрузки загрязненных грунтовых вод масштаб исследований и частота отбора проб выбираются, исходя из реальной обстановки и местных особенностей.

Отдельную группу представляют биологические критерии, используемые для интегральной оценки экологического состояния системы морская вода → донные отложения → поровые воды → подземные воды. Эти критерии учитывают все негативные факторы, влияющие на состояние окружающей гидробионтов среды. К сожалению, биологические критерии пока не имеют государственных стандартов и используются только в научных исследованиях академического плана с участием специалистов-гидробиологов.

Биологические критерии, применяемые для оценки загрязненности природных вод, отличаются большим разнообразием. Чаще всего в практике гидробиологических исследований используются:

1. Критерии, основанные на соотношении числа видов. Значение критериев сопоставляется с индексами сходства Жаккара–Соренсена. Как вариант может быть использован индекс Соренсена–Чекановского [Лозинский, 1984].
2. Критерии, основанные на соотношении биомасс. Могут вычисляться в вариантах, перечисленных выше автором, с обязательной проверкой статистической значимости определений.

3. Критерий удельного биологического разнообразия (УБР). Определяется индексом УБР и интерпретируется согласно [Изменение..., 1987].
4. Критерий тест-объекта. С учетом того, что данная методика предназначена для гидрогеологического изучения шельфа, предлагается в качестве тест-объектов использовать представителей зообентоса. При выборе участков исследований рекомендуется убедиться в отсутствии геопатогенных зон – аномалий геофизических полей, повышенных концентраций радона, метана и др.

Критерий тест-объекта вычисляется как $\Delta C_i = C_i(t_2) - C_i(t_1)$, где C_i – концентрации токсиканта на время t_1 и t_2 в мг/кг сухого вещества. В качестве тест-объектов используются организмы-фильтраторы, являющиеся доминантами первого порядка в донных сообществах. Для определений отбираются одновозрастные (2–3 года) образцы. Среди токсикантов определяют три элемента: ртуть, кадмий и свинец. Выбор элементов основан на следующих соображениях: 1) элементы не играют положительной роли в биологических реакциях самого тест-объекта; 2) элементы имеют наибольшую величину биологического периода самовыведения; 3) происхождение элементов в морской воде, как правило, техногенное.

Последний критерий широко используется в Западной Европе под названием «мидиевого мониторинга». Этот тип мониторинга проводится в течение нескольких десятилетий на побережьях Великобритании, Испании, Франции, Нидерландов и некоторых других стран. Целесообразность его проведения наиболее очевидна в местах развития марикультуры.

Оценки загрязненности, выполненные с использованием биологических критериев, на первый взгляд выглядят достаточно объективными. Однако в интерпретации результатов наблюдений следует проявлять некоторую осторожность. В первую очередь это касается тяжелых металлов. По свидетельству немецкого гидробиолога С. А. Герлаха [Герлах, 1985] мидии нуждаются по меньшей мере в 11 незаменимых микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Mo, V, Se, Sn), играющих важную роль в функционировании ферментов. Эти элементы накапливаются в них даже при крайне высокой степени их разбавления в морской воде. Очевидно, что в акваториях подверженных литогенному загрязнению, зонах глубоких разломов накопление их происходит еще быстрее. Поэтому, использовать их в качестве индикаторов техногенного загрязнения не корректно.

Как видно из приведенного текста, методы и подходы к оценке экологического состояния морских акваторий весьма разнообразны. Большинство методик не утверждены в качестве официальных документов – государственных или ведомственных стандартов. Соответственно, остается открытым вопрос о достоверности результатов исследований и обоснованности оценок. В такой ситуации, можно полагать, что более объективной оценкой экологического состояния акваторий, при прочих равных условиях, будет считаться та, в которой использовано наибольшее количество взаимодополняющих методов. При этом в каждом методе выполнено статистически значимое количество определений (химических анализов и биотестов). Таким образом, главными показателями достоверности экологических оценок являются: комплексирование методов и статистическая значимость определяемых параметров.

Учитывая сложность и неоднозначность геолого-экологических оценок состояния морской среды и донных отложений, необходимо определить минимально достаточный комплекс экологических наблюдений при изучении гидрогеологии шельфа. Такой комплекс должен включать следующие виды работ:

1. Оценку токсичности разгружающихся и морских вод. Пробы на токсичность отбираются из поровых растворов и в придонном слое воды. Градации токсичности определяются методами биотестирования.
2. Оценку концентраций химических элементов первого класса опасности, содержащихся в верхнем слое донных осадков. Пробы грунта отбираются по сетке в контуре очагов субмаринной разгрузки подземных вод, то есть на геохимическом барьере. Количество определений должно быть достаточным с точки зрения статистической значимости. Далее, вычисляется превышение концентраций токсичных химических элементов над ландшафтными фоновыми.
3. Проведение визуальной оценки состояния макробентосных организмов («угнетенное», «не угнетенное») в пределах контура субмаринной разгрузки подземных вод, а так же их видовой состав. Особое внимание уделяется участкам танаценозов.

По результатам всех перечисленных наблюдений дается предварительная оценка эколого-геологического состояния изучаемых участков прибрежной зоны и шельфа в категориях «благополучное» и «не благополучное». К не благополучным следует относить участки с высокой токсичностью подземных вод и превышением концен-

траций токсичных химических элементов над фоновыми на уровне $\pm 2\sigma$. В качестве контрольных используются визуальные оценки состояния макробентоса, отражающие следствия длительного воздействия разгрузки загрязненных подземных вод на морскую биоту. Более детальные оценки экологического состояния требуют проведения специальных исследований, выходящих за рамки гидрогеологических наблюдений, то есть в области деятельности морских экологов и биологов. В то же время, представляется целесообразным результаты эколого-геологических и гидрогеологических наблюдений включать в общую информацию об экологическом состоянии прибрежной зоны и шельфа. С этой целью необходимо внести дополнительные изменения в уже созданные в Украине компьютерные программы «Экошельф» и «Логинформ». Эти программы позволяют прогнозировать изменения структуры сообществ морских организмов в результате формирования полей загрязняющих веществ, поступающих в море с береговым стоком (логико-информационная модель) [Моделирование..., 1993]. Таким образом, можно получить данные о доле, вносимой подземными водами, в общем загрязнении прибрежной зоны и шельфа.

Рассматривая проблемы оценки качества (экологического состояния) морских донных осадков Украинского шельфа, вполне логично рассмотреть зарубежный опыт. В первую очередь учесть опыт Российской Федерации, имеющей с Украиной общие морские границы и трансграничный перенос загрязняющих веществ. Тем более, что многие нормативные документы создавались совместными усилиями российских и украинских ученых начиная с 80-х годов прошлого века. Авторами методик являются специалисты ведущих научных учреждений. Вот далеко не полный их перечень: Всесоюзный научно-исследовательский институт по охране вод (ныне Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем Минэкоресурсов Украины), Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Гидрохимический институт Росгидромета, институт биологии внутренних вод РАН, Институт экологической токсикологии МПР России, Институт гидробиологии АН СССР (ныне НАН Украины), Институт биологии южных морей АН СССР (ныне НАН Украины) и многие другие. В результате коллективной работы было создано «Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов», утвержденное первым заместителем Министра природных ресурсов Российской Федерации

24.04.2001 года [Руководство..., 2002]. Полный текст «руководства можно найти в интернете на сайте.ru «Библиотека ГОСТОВ, СТАНДАРТОВ И НОРМАТИВОВ».

Согласно «Руководству» Методика оценки экологического состояния донных грунтов выглядит в кратком изложении следующим образом:

1. -Пробы донных отложений отбирают дночерпателями (модели Океан Петерсена, Экмана, Берджа или другими).
2. Объем отобранных донных проб должен обеспечивать приготовление из них водных вытяжек в количестве, указанном в соответствующих методиках.
3. Для приготовления водной вытяжки пробу донных отложений высушивают до воздушно сухого состояния при температуре 20 ± 5 °С·удаляют остатки растений, камешки и т. д., измельчают в ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Затем взвешивают необходимое количество донных отложений и заливают водой в соотношении 1:4. смесь встряхивают в течение 1 часа с помощью встряхивателя. Затем в центрифужном стакане центрифугируют в течении 1,5 минут при 3000 оборотов. После этого надосадочную жидкость сливают и используют для биотестирования.

Для определения токсичности морских вод, донных отложений, сточных вод разной степени солености и отработанных буровых растворов, сбрасываемых в морские акватории, в «Руководстве» рекомендуется использование четырех методик: 1. «Методики биотестирования по угнетению роста одноклеточных морских водорослей *Phacodactylum tricornerutum* Bohlin». 2. «Методики биотестирования по гибели ракообразных *Artevia salina*». 3. «Методики биотестирования по гибели рыб *Poecilia reticulata* Peters». 4. «Методики биотестирования по снижению уровня биолюминесценции бактерий *Photodactylum phosphoreum* (Cohn) Ford». [Руководство..., 2002].

Создание Государственных Стандартов – весьма длительная, кропотливая и очень дорогостоящая процедура с привлечением многих высококвалифицированных специалистов, а иногда и целых научно-исследовательских институтов. Так, работа над упомянутым выше «Руководством» продолжалась более 20 лет. В этот период возникает ряд текущих практических проблем, требующих быстрого решения. Для решения неотложных вопросов создаются региональные нормативы. Примером может служить «Региональный норматив», разработанный ОАО «Ленморниипроект» по заказу Управления по охра-

не окружающей среды мэрии г. Санкт-Петербурга [Нормы..., 1996]. Разработка проекта осуществлялась в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1 «Извлечение и удаление загрязненных донных отложений в Санкт-Петербурге». При разработке норм и критериев загрязненности донных отложений за основу были приняты нормы и критерии Голландии, предложенные Агентством по охране окружающей среды Голландии (DCMR), центром исследования почв и грунтов (TNO) и фирмой «HASKONING». Создания региональных нормативов широко практикуется в Европе, и этот опыт вполне мог бы использоваться в Украине.

Так, Региональные нормативы Санкт-Петербурга разрабатывались в период проведения в Финском заливе крупномасштабных работ по созданию нового пассажирского порта, по намыву площадей для строительства зданий «морского фасада города», углублению судоходных каналов, строительству терминалов нового торгового порта в устье р. Луга и ряд др. В документе отмечалось, что вводимые нормы и критерии носят временный характер, до введения аналогичной регламентации на федеральном уровне. Сотрудничество с Голландией представляется отнюдь не случайным. Дело в том, что эта страна имеет тысячелетний опыт увеличения своей территории за счет освоения морских мелководий и создания на их месте полей. За многие столетия упорного труда голландцы увеличили площадь своей страны почти вдвое. Отсюда родилась поговорка: «Бог создал море, а голландцы землю». Добавим, что мелководные заливы Северного моря с песчаным и берегами и дном типа Зей-дер-Зее почти полная аналогия части Финского залива между о. Котлин и городом, называющейся «Маркизовой лужей».

Создание Государственных и региональных нормативов загрязненности донных отложений безусловно объективная необходимость. Однако она не снимает все проблемы, связанные с экологией морского дна. Остается ряд вопросов с региональным распределением загрязняющих веществ, их влияния на развитие морской биоты, биопродуктивности морей. Некоторые ответы можно найти в интересной монографии Л. А. Беспаловой, посвященной изучению качества донных отложений Азовского моря [Беспалова, 2006]. По-прежнему остается проблематичной оценка загрязненности трансграничных участков морского дна и сопоставления критериальных оценок, принятых в разных государствах. Например, во многих европейских странах для оценки экологического состояния придонных сред применяют так называемый «индекс антропогенной разгрузки»

PLI (Pollution Load Index). Экологическое качество среды в градациях от нуля до десяти вычисляется по формуле [Кленкин и др., 2007]:

$$PLI = 10^y \quad (17.3)$$

$$y = (1 - [C_{\text{onc}} - B]) / [T - B]; \quad (17.4)$$

где C_{onc} – В, Т – зафиксированная (определяемая на каждой станции), базовая (фоновая) и пороговая концентрации конкретного загрязнителя.

Не подвергая критике существующие критерии и методы экологического состояния донных осадков, отметим лишь одно – универсального показателя, принятого на международном уровне, пока не найдено.

В качестве заключения выскажем следующие соображения:

1. Донные отложения в естественном залегании представляют собой определенную систему горная порода ↔ поровый раствор. В системе постоянно происходит обмен веществом, обусловленный процессами растворения, выщелачивания, диффузии, сорбции, десорбции, и, в присутствии органических веществ, осложняемый биохимическими реакциями. При изучении компонентов системы для минеральной части целесообразно проведение механического (гранулометрического), минералогического и спектрального анализов. Для жидкой – проведение химического анализа (определение химического типа разгружающихся подземных вод), и только потом биотестирование водной вытяжки.

2. Донные осадки на территории польдеров целесообразно исследовать, используя экологические критерии, разработанные для почв.

3. Экологическое состояние донных осадков на намывных площадях следует оценивать по стандартной методике, изложенной в [Руководство..., 2002].

4. Наиболее сложно решаются вопросы с донными осадками, извлекаемыми при дноуглубительных работах. Как правило, они извлекаются со дна акваторий, подверженных сильному техногенному прессингу. В большинстве случаев экологическое состояние их неудовлетворительное. Оптимальный вариант, после определения характера и степени их загрязнения, складирование на берегу с последующей очисткой. Наихудший вариант, который, к сожалению, часто используется из-за чисто экономических соображений, это дампинг. Сброс в море даже относительно чистых грунтов приводит к полному уничтожению бентосных организмов.

ГЛАВА 18.

КОМПЬЮТЕРНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА

Методика гидрогеологического изучения шельфа предусматривает использование современных электронных технологий и программных средств для накопления, хранения, обработки, составления карт и визуализации гидрогеологических материалов. Процесс изучения прямо связан с составлением картографического материала. Поэтому, в первую очередь, рекомендуется использовать уже сформулированные требования к электронному сопровождению в последних нормативных документах: по гидрогеологическому доизучению масштаба 1: 200 000 [Тімчасові..., 2005] и геологической съемке шельфа масштаба 1: 200 000 [Методічне..., 2006, Організація..., 2008].

По аналогии с гидрогеологическим доизучением площадей (ГДП) территории суши, на первом этапе предусматривается составление геологической базы первичных данных. Банк данных должен содержать сведения о геолого-гидрогеологической изученности, о геолого-гидрогеологических условиях акваторий и приморских территорий, полученных путем сбора и систематизации литературных и фондовых материалов, о результатах выполненных ранее геологических, гидрогеологических и геофизических исследований. На последующих этапах банк данных пополняется новыми материалами. Далее, на основе собранных данных, производится переинтерпретация и анализ данных.

В настоящее время существует множество программных ГИС – инструментов. Основное внимание уделяется двум из них MapInfo фирмы ESRI и ArcGIS фирмы ESRI. Поскольку в Украине существует представительство фирмы ESRI, наиболее рационально применение именно её программ [<http://www.esjmm.kiev.ua>]. Формат этой ГИС успешно используется многими украинскими организациями [Карпенко и др., 2002]. В частности, в основе изучения береговых процессов и организации кадастра Крымских пляжей Национальной Академией Наук Украины используется программная среда ESRI ArcGIS [Долотов и др., 2007].

Так же, как и в рекомендованных документах, в электронной структуре ГИС используются два вида источников:

1. Данные, полученные с помощью GPS приборов.
2. Бумажные карты, схемы и планы, представленные в виде сканированных изображений.

Данные бумажных носителей оцифровываются для получения картографических объектов соответствующих электронных форм. Ввод данных завершается проверкой корректности картографических и табличных параметров и исправлением ошибок топологии (нарушений границ объектов и т. п.).

По рекомендациям [Карпенко и др. 2002] задачи анализа накопленного материала могут решаться двумя способами: медленным, с использованием специализированного калькулятора *field calculator* и программных модулей *Arc Toolbox*, входящих в состав *ArcGIS*. Можно также применить автоматизированный способ с использованием встроенного языка программирования *Visual Basic for Applications (VBA)*. Для реализации второго варианта требуется предварительное программирование.

В соответствии с перечнем утвержденных редакционным советом параметров, формируется геореляционная база данных ГИС. Причем, в понятие «геореляционная» включается наличие некоторого количества взаимосвязанных таблиц, часть из которых является атрибутивными, а часть – дополнительными (семантическими). Атрибутивные таблицы характеризуют пространственные объекты, а дополнительные (семантические) описывают свойства объектов.

Авторами работы [Карпенко и др., 2002] предлагается схема разработки кадастра (базы данных) представленная на **рис. 18.1**, подробно описываются этапы работ и взаимодействие отдельных групп участников. Особую ценность представляют возможность и варианты взаимосвязей таблиц (**рис. 18.2**).

В принципе, подобная система может целиком или частично использоваться для создания базы данных по изученности подземных вод Украинского шельфа. Одновременно, с помощью интерфейса *ArcSDE* обеспечивается доступ ГИС к мировым реляционным базам данных. Или, с помощью *ArcIMS*– доступ к масштабируемому картографическому Интернет – серверу.

Также, в дополнение к официально утвержденному компьютерному сопровождению при составлении карт в электронных версиях программ *Arc View*, *MapInfo*, *CorelDraw*, для сложно построенных

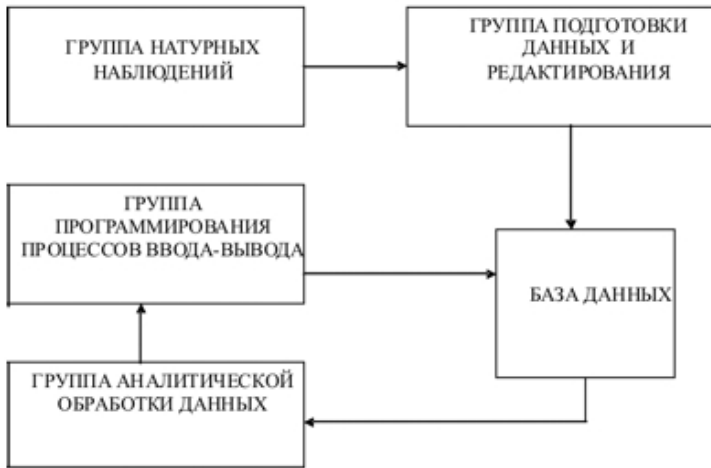


Рис. 18.1. Схема взаимодействия разработчиков кадастра [Долотов и др., 2007].

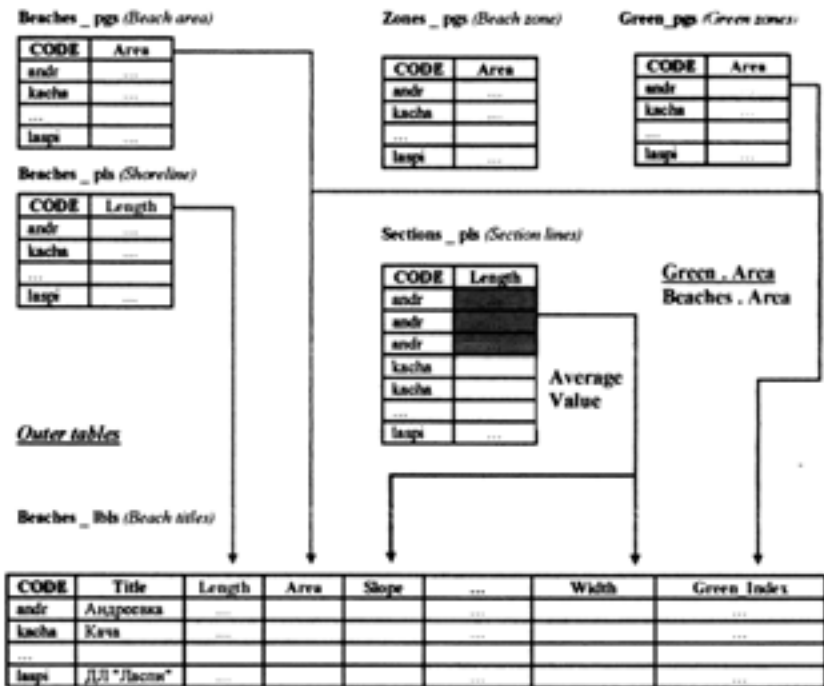


Рис. 18.2. Схематическое представление взаимосвязи таблиц [Долотов и др., 2007].

регионов можно использовать ряд приемов, значительно облегчающих их построение, предложенные В. В. Юдиным (2009) в рукописном отчете. Они сводятся к простым способам наложения и учета ранее полученной информации. В основе ее лежит последовательная электронная подкладка копий предшествующих построений (геологических карт, геофизических материалов и др.) под составляемый макет при выключенном слое заливки.

При виртуальном наложении составляемой карты на предыдущие возникает проблема приведения их к единому масштабу и несоответствия географических контуров из-за разной точности разновозрастных топографических основ. При подкладке карт более крупного, чем составляемый макет, или более мелкого масштабов, такие несоответствия присутствуют почти постоянно.

Первая проблема решается следующим образом. Предварительно на сканируемой карте и на составляемом макете необходимо нанести линейный масштаб достаточной длины и детальности. Первая и основная сбивка подкладки и макета делается совмещением двух линейных масштабов наложением с приведением их к единому.

Некоторые геологические карты составлялись в магнитных, а не географических координатах, а рамки карты не всегда точно соответствуют меридиану. В этих случаях вводится поворот подкладки в соответствии с конкретным районом работ. Например, магнитное склонение в Горном Крыму – около 5° , на севере Европы до 24° и т. д. После этого подкладка корректируется по контурам рек, озер и берега моря. Вторая проблема, в случае значительного несовпадения топографических основ геологических карт, решается точным совмещением географических контуров подкладки по отдельным участкам и структурам при сохранении общего масштаба.

Указанным способом макет гидрогеологической карты (при выключенном слое заливки) сопоставляется с разными данными по геологии, геофизике и др. Таким же образом учитываются рисовки карт-врезок более крупных масштабов, как предшествующих, так и собственных работ.

Аналогичным образом используются подкладки под электронный макет карты из различных аэрофото- и космических материалов. При этом возникают сложности, связанные с отсутствием на них линейного масштаба и с фото искажениями. Высокого разрешения космокарты, при правильном совмещении, хорошо соответствуют даже детальным топокартам.

Электронные методы обработки и хранения информации постоянно совершенствуются. Внедрение их в практику гидрогеологических исследований – объективная необходимость. Появляются новые версии, часто несовместимые с предыдущими. Таким образом, выбор вариантов электронного сопровождения должен быть обоснованным. При этом следует учитывать, что согласно временным требованиям, методические рекомендации и инструкции для всех технологических процессов компьютерного сопровождения, составления карт гидрогеологического содержания разрабатываются отдельно и утверждаются Государственной геологической службой Министерства охраны окружающей естественной среды Украины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время нормативных документов, регламентирующих проведение гидрогеологических исследований на шельфе, в Украине и за рубежом еще не создано. В будущем, они могут появиться после тщательного анализа проведенных ранее наблюдений на основе обобщения всего имеющегося в мире опыта морских работ. Наиболее близкими по смыслу задачам гидрогеологического изучения акваторий заданного масштаба являются «Временные требования гидрогеологического изучения ранее закартированных площадей территории Украины масштаба 1: 200 000. Киев, 2005 г», созданные для территории суши. Очевидно, что подходы к изучению подземно-морской гидросферы и подземно-субаэральной должны быть одинаковы или максимально близки друг к другу. Только в этом случае можно получить целостную и непротиворечивую картину условий формирования, движения и разгрузки подземных вод в области переходной зоны от суши к морю и её составляющих: прибрежно-морской зоны и шельфа.

Изучение гидрогеологических условий, как на суше, так и на шельфе следует проводить на кондиционной геологической основе: геологических картах соответствующего масштаба, геофизических данных и результатах бурения. Для условий суши такая геологическая информация имеется в полном объеме. Для геологического картирования применяются соответствующие нормативные документы – методические указания и инструкции. В тексте монографии отмечается, что для гидрогеологического изучения шельфа рекомендуется выполнять комплексные работы, с одновременными исследованиями геологического разреза и приуроченным к породам, составляющим разрез, подземным водам. Проведение комплексных работ рационально со всех точек зрения: с позиций получения достоверных результатов, единых методических подходов, технических и экономических соображений. Последнее, особенно важно, поскольку связано с дорогостоящей эксплуатацией судов, не менее дорогостоящего морского бурения, массовым пробоотбором морских вод и донных осадков, аналитическими определениями.

Существующие сведения о гидрогеологических работах в прибрежной зоне и на шельфе чрезвычайно разнородны, фрагментарны, встречаются в самых разных по тематике литературных и фондовых

источниках, большей частью труднодоступных. Ранее проведенные обобщения датируются 70–80-ми годами прошлого века и за истекшее после их написания время существенно устарели. Тем не менее, несмотря на объективные трудности, собранный обработанный и проанализированный материал позволил автору выполнить эту работу.

Представляется, что на первом этапе гидрогеологического изучения шельфа правильной было бы говорить не о составлении гидрогеологических карт, а о составлении карт-схем той или иной степени обоснованности.

По нашему мнению наиболее важными в настоящее время являются проблемы моделирования гидрогеологических процессов на шельфе. Очевидно, что универсальных моделей не существует. Поэтому, наибольшие трудности в перспективе развития модели представляет разработка концептуальной гидрогеологической модели шельфа, первую попытку составления которой предпринял А. Павлов. Далее в разделе кратко обобщен уже имеющийся отечественный и зарубежный опыт моделирования процессов горизонтальной и вертикальной фильтрации подземных вод на различных типах моделей (математических, аналоговых, физических) Рассмотрены вопросы моделирования субмаринной разгрузки подземных вод. Особое внимание предлагается уделить адаптации логико-информационной модели к решению гидрогеологических задач. Широкие возможности логико-информационной модели позволяют решать комплексные задачи с выходом на прогноз состояния шельфовых вод.

С точки зрения научной значимости, автор рассматривает настоящую монографию как научное обобщение, выполненное с учетом личного многолетнего опыта подобных работ в разных регионах. Помимо широко известных в морской гидрогеологии работ в нем обсуждаются и новейшие исследования, информация о которых появилась в печати в конце 2008 и начале 2009 г. Вместе с тем, автор не берется оценивать значимость работы. Очевидно только то, что для более полного обобщения и интерпретации материалов о гидрогеологии шельфа в любом варианте потребуются такие же усилия.

Представленные методы гидрогеологического изучения шельфа весьма разнообразны. По существу это широкий обзор всех известных нам методических подходов и приемов, когда либо применявшихся в гидрогеологических исследованиях морских акваторий. Именно полнота методических приемов, направленных на решение гидрогеологических задач изучения шельфа и их критическое рассмотрение, определение их рациональности и целесообразности состав-

ляет смысл этой работы. При практическом использовании методов гидрогеологического изучения шельфа, в зависимости от конкретных геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий, исследователь в праве сам выбирать наиболее подходящий для данной природной обстановки методический подход, состав и способ выполнения работ. Вполне допустима возможность при достаточно полном научном обосновании изменения приемов исследований, создание других приборов и оборудования нового поколения.

При количественной оценке величины субмаринной разгрузки подземных вод в прибрежной зоне и на шельфе наиболее рационально одновременное использование нескольких методов с последующим сравнением результатов и анализом их достоверности. Безусловно, такой подход существенно дороже, сопряжен с увеличением трудовых и материальных затрат. Рациональность в этом случае заключается в получении обоснованных результатов. Необходимость комплексирования методов вызвана также тем, что ни один из применяемых в настоящее время методов не является универсальным, не сертифицирован, а приборы и оборудование не имеют полагающегося закона Украины метрологического обеспечения.

Техническая сложность выполнения морских гидрогеологических исследований и их высокая стоимость не позволяют проведения длительных прямых измерений. В результате, в Украине и за рубежом отсутствуют статистически значимые режимные данные по субмаринной разгрузке перетеканием. Нигде в литературе и фондовых работах нами также не встречены материалы по режиму субмаринных источников. Для осуществления режимных наблюдений фактически приходится выполнять заново каждое трудоемкое измерение расхода и других параметров разгрузки. Между тем, сезонные и внутригодовые изменения дебита карстовых источников очень велики. Например, в Крыму минимальные и максимальные расходы их могут отличаться на порядки. Отсутствие этих данных создает существенные трудности для оценки перспективности источников для улучшения водоснабжения и при проектировании каптажных устройств.

Использование прямых методов изучения субмаринной разгрузки должно выполняться с соответствующим приборным и аппаратурным обеспечением. Поскольку все известные подобные исследования носили экспериментальный характер, приборы и оборудование изготовлялись в единственных экземплярах с авторскими конструктивными особенностями. Соответственно в их названиях присутствуют фамилии авторов: инфильтрометр Li – типа, автоматический из-

меритель фильтрации Танигучи, пашущий зонд ИВП (конструкции А. В. Месхетели) и другие. Причем все эти приборы в большинстве случаев имели весьма ограниченную апробацию в натуральных условиях. Отдать предпочтение какому-то одному прибору и рекомендовать его к серийному изготовлению, основываясь только на литературных данных, представляется не корректным.

В такой ситуации выбор технических устройств для будущих исследований должен определяться не только с позиций «лучший», но и по практическим соображениям (стоимость, надежность, технологичность, полезность и др.). Например, стоимость изготовления инфильтрометра Li – типа минимальна (по приближенным расчетам 300–500 гривен, при серийном изготовлении еще дешевле), а изготовление более сложных автоматических устройств оценивается в несколько тысяч долларов США (без учета стоимости проектно-сметной документации). Еще более дорогостоящим является приборное обеспечение изучения разгрузки с использованием естественных радиоактивных трассеров, требующее сложной аппаратуры и привлечения персонала со специальным обучением и опытом. Не вызывает сомнений лишь использование стандартного геологического оборудования (грунтовые трубки, дночерпатели, буровые установки и др.), геофизическая аппаратура (сейсморазведочная, сейсмоакустическая, термозонды, термоволочки и др.), океанологическая (батометры, термометры, термобатометры, измерительные комплексы АЦИТ, ШИК, гидрологические зонды и др.). Так же удовлетворяют всем современным требованиям методы, приборы и аппаратура для проведения гидрогеологических работ на суше.

В заключение сошлемся на современный зарубежный опыт гидрогеологического изучения морских акваторий. После выполнения совместной пятилетней программы (2000–2005 г) секцией гидрологии изотопов МАГАТЭ (Вена), Морской лабораторией окружающей среды (Монако) и другими девятью лабораториями из восьми стран, в результирующей работе [Quantifying, 2006] рекомендуется:

1. Для изучения субмаринной разгрузки подземных вод (СРПВ) планировать многовариантные методические подходы.
2. Необходима координация групп измерений, гарантирующая возможность сравнения различных методов в попарном и общем сопоставлении в продленные периоды одновременных измерений.
3. Проекты экспериментальных работ по изучению разгрузки должны предусматривать пространственный и временной масштаб изучаемых процессов в соответствии с используемой методологией.

4. Учитывая важность проблемы СРПВ, настоятельно рекомендует-ся дальнейшее изучение процессов разгрузки с проведением измерений в достаточно длительные периоды, охватывающие сезонные и многолетние измерения.

Общим выводом, касающимся всего проекта можно считать, цитируем: «... хотя отдельные, описанные в работе методы хорошо проработаны, пока еще нет никакой широко принятой «стандартной методики».

Рекомендации и выводы международной экспертной группы не противоречат авторским. Сами методы гидрогеологического изучения шельфа отражает лишь первый этап научно обоснованной методологии его целенаправленного изучения. После апробации и широкого обсуждения, с учетом всех замечаний и пожеланий специалистов, логично приступить ко второму этапу, то есть разработке методических указаний. Второй этап, по нашему мнению, должен сопровождаться проверкой ряда методических разработок в полевых условиях, направленных на создание единого комплекса морских гидрогеологических исследований. Многие проведенные ранее экспериментальные исследования не могут быть прямо внедрены в практику производственных работ и нуждаются в доработке. Необходимо также оценить и реальные возможности проведения натуральных исследований, определить необходимый и достаточный минимум приборного и аппаратурного обеспечения, организационные, логистические и ряд других принципиальных вопросов.

Проблема изучения подземно-морской части гидросферы с каждым годом приобретает все большую значимость. Уже сейчас многие густонаселенные приморские территории испытывают острый дефицит пресной воды. Международный проект МАГАТЭ/ЮНЕ-СКО затронул лишь верхушку этого айсберга. Следующий этап изучения неизбежно будет связан с гидрогеологическим картированием морских акваторий. И здесь сразу же возникнет вопрос о картировании трансграничных акваторий, создании международных стандартов картирования, взаимоувязанных оценок экологического состояния коллекторов, подземных вод и другие. Оптимальным решением проблемы представляется создание целевой международной программы по комплексному изучению подземных вод шельфа, руководство и контроль за выполнением которой осуществляла бы специальная комиссия.

ЛИТЕРАТУРА

- Агарков А. Ю., Павлов А. Н., Юровский Ю. Г.* Опыт построения геодинамической модели прибрежной части шельфа в связи с эксплуатацией гидротехнических сооружений. // Тез. доклада к совещанию «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». – Л.: Ленинградский горный институт, 1976. – С. 18–20.
- Айбулатов Н. А.* Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 272 с.
- Александров В. В., Юровский Ю. Г.* Об электрометрическом определении параметров субаквальных источников. // В кн. «Геофизические исследования озер». – Л.: Наука, 1973. – С. 151–156.
- Альтовский М. Е.* Методические указания по составлению гидрогеологических карт масштаба 1:100 000–1:500 000 и 1:200 000–1:100 000. – М., ВСЕГИНГЕО, 1960.
- Антонов В. В., Коротков А. И., Павлов А. Н.* Проблемы гидрогеологии шельфовых областей. // Тез. Доклада 27 геологического конгресса. – М., 1984. – С. 352.
- Артеменко В. И.* Методика и результаты опробования приповерхностной геотермической съемки в море. // Прикладная геофизика, 1874. – С. 125–130.
- Бадюков Д. Д.* Изменения уровня на современных побережьях Белого, Балтийского и Черного морей за последние 15 000 лет. // Океанология. – 1979. – № 19. – С. 280–287.
- Беляев В. И.* Моделирование морских систем. – К., Наукова думка, 1987. – 202 с.
- Беляев В. И., Худошина М. Ю.* Основы логико-информационного моделирования сложных геосистем. – К., Наукова думка, 1989. – 160 с.
- Беспалова Л. А.* Экологическая диагностика и оценка устойчивости ландшафтной структуры Азовского моря. Ростов на Дону, Изд ООО «ЦВВР», 2006. – 271 с.
- Борисенко Л. С.* Гидрогеологические условия субмаринной разгрузки подземных вод Крыма. // Водные ресурсы. – М., РАН, 2001. – № 1. – С. 18–25.
- Брилинг И. А.* Нитратное загрязнение подземных вод удобрениями. – М., ВИЭМС, 1985. – 52 с.
- Водообмен* в гидрогеологических структурах Украины: водообмен в естественных условиях. Шестопалов В. М., Лялько В. И., Огняник Н. С. и др. – К., Наукова думка, 1989. – 288 с.
- Волков П. А.* Исследование процессов взаимодействия волнового потока с дном. // В кн. Экспериментальные и теоретические исследования процессов береговой зоны. – М., 1965. – С. 3–94.
- Володин Д. В., Яковлев Е. А., Почтаренко В. И. и др.* Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геолого-разведочных работах (для условий Украины). Глав КГУ Укргеология. – Киев, 1990. – 87 с.
- Временные* требования к проведению гидрогеологического доизучения ранее закартированных площадей территории Украины масштаба 1:200 000. – К., 2005. – 87 с.

- Газовый режим* Черного моря/под редакцией Е. Ф. Шнюкова. – К.: ОМГР ННПМ НАН Украины, 2005. – 136 с.
- Геворкьян В. Х., Головань Г. А.* Подводные обитаемые аппараты базы «Гидронавт» (тактико-технические данные, опыт использования для решения научных и практических задач). Препринт АН УССР, Институт геологических наук. – К., 1990. – 42 с.
- Геворкьян В. Х., Бураков В. И., Исагулова Ю. К. и др.* Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря. Доклады АН УССР. – 1991. – № 4. – С. 80–85.
- Геворкьян В. Х., Сокур О. Н.* Генетические особенности черноморских «курульщиц». //Геол. журнал. – 2005. – № 2. – С. 68–82.
- Геодекян А. А., Авилон В. И., Троцюк В. А.* Интерпретация результатов геохимических исследований Охотского моря. //Океанология. – 1977. – № 2. – С. 237–242.
- Геология шельфа УССР.* Среда, история и методы изучения. – К.: Наукова думка, 1982. – 180 с.
- Геология шельфа УССР.* Твердые полезные ископаемые. – К.: Наукова думка, 1983. – 200 с.
- Герлах С. А.* Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.
- Герасимов М. Е., Бондарчук Г. К., Юдин В. В., Белецкий С. В.* Геодинамика и тектоническое районирование Азово-Черноморского региона. //Сб. докладов «Геодинамика, тектоника и флюидодинамика нефтегазоносных регионов Украины». – К., 2008. – С. 45–151.
- Гожик П. Ф.* Регрессивные этапы в позднекайнозойской истории Черного моря и их отражение в развитии гидросети. Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей. К.: Наукова думка, 1984 – С. 100–102.
- Гольдберг В. М.* Движение подземных вод разных минерализаций. – М.: ВСЕГИН-ГЕО, 1966. – 65 с.
- Гольдберг В. М.* Интрузии морских вод в горизонты пресных подземных вод. //«Гидрогеологические исследования за рубежом»/Под редакцией Р. А. Маринова. – М.: 1982. – С 74–88.
- Гончар А. И., Голод О. С., Должигов А. К., Шлычек Л. И.* Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового океана.–Запорожье: изд. НАНУ, 2002.– 221 с.
- Горячкин Ю. Н., Иванов В. А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. – Севастополь: изд. НАНУ, 2006. – 287 с.
- ГОСТ 2874–82.* Вода питьевая.
- Гудзенко В. В.* Радон в газах грязевых вулканов. //Геология и полезные ископаемые мирового океана. – 2008. – № 2. – С. 116–127.
- Гудзенко В. В., Дубинчук В. Т.* Изотопы радия и радона в природных водах. – М.: Наука, 1987. – 156 с.
- Даниленко А. В., Рябин А. И.* Сульфаты в водах Черного моря. //Океанология. – 1986. – № 6 – С. 938–945.
- Демидов А. Н., Миньковская Р. Я.* Катастрофические наводнения на побережье Черного и Азовского морей. //Материалы международного научно-технического семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий». Ч. 1. – Киев, 1999. – С. 103–107.

- Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Месхетели А. В. Подземный сток в моря и Мировой океан. – М.: Наука, 1977. – 94 с.
- Джамалов Р. Г. Подземный сток Терско-Кумского артезианского бассейна. – М.: Наука, 1973. – 96 с.
- Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Семендяев Л. И. Выделение областей субмаринной разгрузки в морях. Водные ресурсы, № 2, 1976. – С. 101–109.
- Долотов В. В., Иванов В. А. Повышение рекреационного потенциала Украины: Кадастровая оценка пляжей Крыма. – Севастополь: изд. МГИ НАН Украины–2007. – 194 с.
- Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР. – М.: Наука, 1984. – 128 с.
- Дятлов С. Е., Петросян А. Г., Ходаков И. В. и др. Экспериментальная оценка прибрежных вод и донных осадков методами биотестирования. // Сб. научных трудов УкрНЦЭМ «Исследование экосистем Черного моря». Вып. 1. – Одесса: Ирнополиграф, 1994, – С. 141–148.
- В. А. Емельянов и др. Геоэкология черноморского шельфа Украины. К., Академперниодика, 2004 г.
- Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 204 с.
- Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Подземный сток в моря и мировой океан. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 207 с.
- Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Проблемы морской гидрогеологии. // Тез. Доклада 27 геологического конгресса, т. VII, секция 16. – М., 1984. – С. 544–545.
- Зекцер И. С., Месхетели А. В., Тынкова Л. М. Количественная оценка субмаринной разгрузки подземных вод по данным гидрогеологических исследований. // Водные ресурсы. – 1986. – № 2. – С. 52–58.
- Иванов В. А., Тучковенко Ю. С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем. – Севастополь: изд. НАНУ, 2006. – 169 с.
- Иванов В. А., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Субмаринная разгрузка подземных вод у мыса Айя (Крым) // Геология и полезные ископаемые мирового океана, – 2008 а. – № 3. – С. 65–75.
- Иванов В. А., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Новые данные о субмаринной разгрузке подземных вод в районе м. Айя (Крым) // Доповіді Національної академії наук. – 2008 б. – № 7. – С. 105–110.
- Издательство стандартов. – М., 1984. – 240 с.
- Изменение физико-химических свойств морских вод под влиянием загрязнения. // Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 200 с.
- Инструкция по организации и проведению геологической съемки шельфа масштаба 1:200 000 (ГСШ – 200). М.: Роскомнедра, 1994. – 64 с.
- Информационный бюллетень о состоянии геологической среды Украины за 1991 г. Вып. 12. – К.: Изд. Госкомгео Украины. – 1972. – С. 80–84.
- Казанцев Ю. В. Тектоника Крыма. – М.: Наука, 1982. – 112 с.
- Каменский М. М. Вопросы прикладной геохимии. – К.: Высшая школа, 1974. – 154 с.

- Калинин А. В., Калинин В. В., Пивоваров Б. Л. Сейсмоакустические исследования на акваториях. М.: Недра, 1983. – 183 с.
- Кармазин В. П. Геохимические особенности продуктов деятельности морского грязевого вулкана Голубицкий (Темрюкский залив, Азовское море).//Минеральные ресурсы Украины. – 2006. – № 2. – С. 25–27.
- Каплин П. А. Новейшая история побережий мирового океана. – М.: изд. МГУ, 1973. – 265 с.
- Карпенко С. А., Ефимов С. А., Лагодина С. Е., Подвигин Ю. А. Информационно – методическое управление территориальным развитием. – Симферополь: «Таврия Плюс», 2002. – 185 с.
- Кеннет Дж. П. Морская геология. Т. 1. – М.: Мир, 1987. – 397 с.
- Кирьяков П. А., Лисиченко Г. В., Емельянов В. А. О выявлении субмаринной разгрузки подземных вод с помощью радоновой съемки.//Водные ресурсы. – 1982. – № 5. – С. 153–157.
- Кирюхин В. А., Коротков А. И., Павлов А. Н. Общая гидрогеология. – Л.: Недра, 1988. – 359 с.
- Кирюхин В. А., Толстихин Н. И. Гидрогеология дна Мирового океана. – Л.: Изд. Ленинградского горного института, 1988. – 104 с.
- Кленкин А. А., Павленко Л. Ф., Корконова З. А., и др. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений. Заводская лаборатория. Диагностика материалов, № 8 (73), 2007, С. 1–11.
- Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач. М.: Недра, 1987. – 471 с.
- Комплексные изыскания при строительстве гидротоннеля в карстовой области Горного Крыма.//Сб. научных статей. ИМР. – Симферополь, 1971–216 с.
- Кондратьев С. И., Иванов В. А., Долотов В. В., Щетинин Ю. Т. Апробирование методики поиска субмаринных пресных вод с использованием гидрохимических показателей в районе мыса Айя.//Материалы международного научно-технического семинара. Морское и экологическое приборостроение. – Севастополь, 1995. – С. 121–122.
- Кондратьев С. И., Долотов В. В., Моисеев Ю. Г., Щетинин Ю. Т. Субмаринные источники пресных вод в районе мыс Фиолент – мыс Сарыч.//Морской гидрофизический журнал. – 1998. – № 3. – С. 57–69
- Конигов Е. Г., Пронин Н. К., Байсарович И. М. и др. Поровые и субмаринные воды и методы их изучения. Препринт № 86–25 ИГН АН УССР. – К.: Наукова думка, 1986. – 60 с.
- Кортаев С. М. Об использовании естественного электрического поля для исследования субаквальных источников.//Исследования по проблемам солнечно-земной физики. – М., 1975. – С. 217–223.
- Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в гидрогеологии. – Л.: Недра, 1972. – 184 с.
- Коротков А. И., Павлов А. Н., Юровский Ю. Г. Гидрогеология шельфовых областей. – Л.: Недра, 1980. – 216 с.
- Корчин В. А., Буртный П. А., Коболев П. А. и др. Сейсмоакустические исследования газовыделяющих структур на дне северо-западной части Черного моря.// Геофиз. журнал. – 1998. – № 5. – С. 110–117.

- Круглякова Р. П. Геохимические методы поисков нефти и газа на акваториях//Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 46 с.
- Лапшев Н. И. Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 87 с.
- Леонтьев О. К. Краткий курс морской геологии. – М.: Изд. МГУ, 1963. – 461 с.
- Леонтьев И. О. Динамика прибрежной зоны. – М.: изд. ИО АН СССР, 1989. – 203 с.
- Лобье Л. Оазисы на дне океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 156 с.
- Логвиненко Н. В. Морская геология. – Л.: Недра, 1980. – 343 с.
- Лозанский В. В. Проблемы комплексных оценок качества поверхностных вод и пути их решения. Комплексные оценки качества подземных вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 6–14.
- Лонгинов В. В. Очерки литодинамики океана. – М.: Наука, 1973. – 217 с.
- Луцкий А. В., Морозов В. И., Павкин В. П., Юровский Ю. Г. Особенности формирования подземных вод в западной части Равнинного Крыма (на примере бухты Очеретай)//Геологический журнал. – 1985. – № 3. – С. 101–107.
- Лялько В. И., Митник М. М., Вульфсон Л. Д. Исследование субмаринных источников геотермическими методами//Геологический журнал. – 1978. – № 1. – С. 46–52.
- Лялько В. И., Шнюков Е. Ф. О субмаринной разгрузке подземных вод на шельфе Украинского Причерноморья//Геологический журнал. – 1980. – № 3. – С. 48
- Масляков Н. А. Верхнеплиоценовая река на Керченском полуострове. Геология и полезные ископаемые Черного моря. – Киев.: изд-во ТОВ «Карбон-ЛТД», 1999. – С. 193–197.
- Мехетели А. В., Кузнецов Д. В. Морские гидрогеологические исследования и их аппаратное обеспечение//Водные ресурсы. – 1984. – № 1. – С. 148–155.
- Методические рекомендации по гидрогеологической съемке масштаба 1: 200 000. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
- Методические рекомендации по гидрогеологическому изучению акватории морей и крупных озер./Мехетели А. В., Зекцер И. С., Джамалов Р. Г. и др. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1987. – 66 с.
- Методические рекомендации по применению геофизических методов для обнаружения подземных вод на месторождениях нерудного сырья. Донецк, 1967. – 43 с.
- Методические указания по гидрогеологической съемке на закрытых территориях в масштабах 1:500 000, 1:200 000 и 1:50 000. – М.: Недра, 1967. – 176 с.
- Методическое руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1:1 000 000–1: 500 000 и 1: 200 000–1:100 000/под ред. А. А. Маккавеева и А. С. Рябенкова. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 319 с.
- Методичне керівництво з організації і проведення геологічної зйомки шельфу Чорного та Азовського морів масштабу 1: 200 000. Державна геологічна служба, Причорномор ДРГП. – Одеса, 2006. – 160 с.
- Методы геологической съемки шельфа. Методические рекомендации. – Л.: ВСЕГЕИ, 1979. – 16 с.
- Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И. Геохимия Черного моря. – К.: Наукова думка, 1982. – 144 с.

- Моделирование* геохимических процессов в морском прибрежном экотоне/Беляев В. И., Совга Е. Е., Художина Н.В и др. – К.: Наукова думка, 1993. – 240 с.
- Морские гидрогеологические исследования, постановка, результаты и перспективы*/Митропольский А. Ю., Байсарович И. М., Емельянов В. А. и др. Препринт 92–10 АН Украины, Институт геологических наук. – К., 1993. – 46 с.
- Мур Дж. В., Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природных водах. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
- Никитин М. Р.* Гидрогеологическая стратификация как основа легенды гидрогеологической карты.//Сб. научных статей. Труды ВСЕГИНГЕО. Вып. 148. – М.: 1982. – С. 33–38.
- Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга.* Региональный норматив. СПб, 1996.- 13 с.
- Огильви Н. А., Семендяев Л. В.* Гидрогеологическая модель системы артезианских водоносных горизонтов по геофизической информации. Подземный сток и методы его определения. – М.: Наука, 1972. – С. 88–100.
- Океанографическая энциклопедия.* – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 631 с.
- Осадконакопление* на континентальной окраине Черного моря. – М.: Наука, 1978. – 211 с.
- Осадчий В. Г., Куксов Г. А., Ковалик В. В.* Морская геотермосъемка. – К.: Наукова думка, 1979. – 104 с.
- Основы гидрогеологии.* Гидрогеодинамика/Гавич И. К., Зекцер И. С., Ковалевский Л. С. и др. – Новосибирск: изд. «Наука», 1983. – 242 с.
- Островский А. Б., Зайцев И. Н.* Гидрогеологическая типизация переуглубленных речных долин на примере северо-западного и северного Кавказа//Водные ресурсы. – 1984. – № 6. – С. 28–55.
- Павлов А. Н.* Геологический круговорот воды на земле. – Л.: Недра, 1977. – 143 с.
- Пасынков А. А.* Основные принципы методики поисковых геохимических исследований на газоперспективных участках Черного моря.//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2006. – № 3. – С. 54–72.
- Пасынкова Л. А.* Рельефообразующие факторы и их роль в формировании современного облика континентального склона северо-западной окраины Черного моря.//Материалы международной конференции «Геология и полезные ископаемые Черного моря». Т. 1. – Киев: изд-во ТОВ «Карбон-ЛТД», 1999. –С. 262–268.
- Перечень* рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд. ВНИИРО, 1999.
- Петросян А. Г., Дятлов С. Б., Доценко Т. В.* Интегральная оценка качества воды и донных осадков прибрежных районов моря.//Труды научно-практической конференции «Экологические проблемы Одесского региона и их решение». – Одесса, 1995. – С. 131–135.
- Петросян А. Г., Скопцова Н. А., Быстрицкая О. А., Рыжко В. Е.* Оценка донных осадков методами биотестирования. Комплексное изучение загрязнения мирового океана в связи с освоением его минеральных ресурсов. – Л.: Мингео СССР, 1989. – С. 76–83.
- Подземные воды* карстовых платформенных областей юга Украины. – К.: Наукова думка, 1981. – 200 с.

- Поиски субмаринных источников в каньонах материковой окраины южного берега Крыма.* Препринт 89–24 АН УССР ИГН, 1989. – 39 с.
- Поровые и субмаринные воды и методы их изучения.* Препринт 86–25 АН УССР, ИГН. – К., 1986–66 с.
- Принципы гидрогеологической стратификации/отв. ред. Г. В. Куликов.*//Сборник научных статей. Труды ВСЕГИНГЕО. – М., 1982. – 107 с.
- Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов.*//Тезисы докладов Всесоюзного совещания. Суздаль 13–17.11.89. – М., 1989. – 185 с.
- Проблемы геологии шельфа/Под ред. Е. Н. Невеского.* – М.: Наука, 1975. – 205 с.
- Проблемы инженерной геологии и гидрогеологии Черноморского шельфа УССР/Л. Г. Борейко, В. А. Емельянов, Н. Н. Качанов и др.* Препринт 83–8 АН УССР ИГН. – К., 1983. – 44 с.
- Рахманов Р. Р.* Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. – М.: Недра, 1987. – 174 с.
- Результаты геологических исследований 37 рейса в Черное море НИС 2 «Академик Вернадский»/Шнюков Е. Ф., Шелкопляс В. Н., Гожик П. Ф. и др.* Препринт 88–37 АН УССР ИГН, 1988. – 36 с.
- Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов.* ЗЭФИА, НИА – Природа, Москва, 2002.
- Руководство по химическому анализу морских вод.* – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993.
- Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения.* СанПин № 4631–88. М.: Минздрав СССР, 1988. – 17 с.
- Сафьянов Г. А.* Эстуарии. М., «Мысль», 1987.- 189 с.
- Совга Е. Е., Юровский Ю. Г., Митропольский А. Ю. и др.* Выполнение эколого-геологических, гидрогеохимических и гидробиологических исследований на наблюдательном полигоне устье р. Дунай – о. Змеиный (временные методические рекомендации).
- Современные методы и средства контроля морской среды.* – Севастополь: изд. НАНУ, 2006. – 109 с.
- Сорокина Н. А., Моисеев Ю. Т.* Гидрофизические характеристики вод вблизи мыса Аяя в ранне-осенний период. Диагноз и состояние среды прибрежных и шельфовых зон Черного моря.//Сб. научных трудов МГИ. – Севастополь, 1996. – С. 98–107.
- Справочник по инженерной геологии./под ред. М. В. Чуринова.* – М.: Наука, 1981. – 325 с.
- Справочное руководство гидрогеолога.* Т. 2.- Л.: Недра, 1979. – 5.
- Стратен Л. Ван.* Седиментация в северной части Адриатического моря.//Геология и геофизика морского дна. – М.: Мир. – 1969. – С. 155–174.
- Тарасов В. Г., Пропн М. В.* Уникальное морское сообщество.//Природа. – 1987. – № 2. – С. 41–49.
- Титов В. Б. и др.* Статистико-вероятностный анализ изменчивости течений и ветра на Кавказском побережье Черного моря.//Водные ресурсы. – 1983. – № 1. – С. 120–129.

- Ткачева Н. В., Тихомирова Н. М. Геохимия поровых вод при диагенезе морских осадков. – М.: Наука, 1962. – 245 с.
- Ткачева Н. В., Тихомирова Н. М. Гидрогеохимия донных осадков Черного моря. – М.: Наука, 1962. – 145 с.
- Уист Дж. де. Гидрогеология с основами гидрологии суши. – М.: Мир, 1969. – 312 с.
- Фельзенбаум А. И. Теоретические основы и методы расчета морских течений. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
- Чистяков В. К. Геотехнологические аспекты при поисках, разведке и эксплуатации месторождений природных газовых гидратов.//Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – К., 2008. – № 3. – С. 103–112.
- Шахнова Р. К. Совещание по вопросам гидрогеологической стратификации.//Сов. геология. – 1980. – № 9. – С. 116–117.
- Шернард Ф. П. Морская геология. – Л.: Недра, 1976. – 488 с.
- Шестопалов В. М., Стеценко В. Д., Руденко Ю. Ф. и др. Особенности формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод северо-восточной части причерноморского артезианского бассейна (на примере Мелитопольского месторождения).//Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 6. – С. 5–11.
- Шишкина О. В. Геохимия морских ископаемых илов. – М.: Наука, 1972. – 228 с.
- Шишкина О. В. Геохимия морских ископаемых иловых вод. – М.: Наука, 1972. – 226 с.
- Шнюков Е. Ф. Грязевой вулканизм в Черном море.//Геологический журнал. – 1999. – № 2. – С. 38–47.
- Шнюков Е. Ф., Клеценко С. А., Митин Л. И. и др. Поиски субмаринных источников в каньонах материковой окраины южного берега Крыма. Препринт 89–24 АН УССР ИГН. – К., 1989. – 39 с.
- Шнюков Е. Ф., Григорьев А. В., Безбородов А. А., Мавренко Н. И. Экспериментальные исследования в Черном море (51-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», 11.11–14.12. 1989 г).//Геологический журнал. – 1990. – № 4. – С. 130–133.
- Шнюков Е. Ф., Иноземцев Е. И., Масляков Н. А. Геологическая история развития речной сети на северо-западном шельфе Черного моря. Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: Изд-во ТОВ «Карбон-ЛТД», 1999 а. – С. 180–184.
- Шнюков Е. Ф., Пасынков А. А., Клеценко С. А. и др. Газовые факелы на дне Черного моря. – К.: Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, 1999 б – 134 с.
- Шнюков Е. Ф., Старостенко В. И., Русаков О. М., Кутас Р. И. Глубинная природа газовых факелов западной части Черного моря по результатам геофизических исследований. Геология и полезные ископаемые мирового океана. – К., 2005. С. 70–82.
- Шуйский Ю. Д. Опыт изучения баланса осадочного материала в береговой зоне Черного моря.//Геол. журнал. – 1981. – № 5. – С. 82–89.
- Шуйский Ю. Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 240 с.
- Шуйский Ю. Д. Основные закономерности распределения наносов на подводном склоне Донузлавской пересыпи.//Екологічні проблеми Чорного моря. Вип. 4. – 2002. – С. 287–295.

- Шуйский Ю. Д. Основные закономерности морфологии и динамики западного берега Крымского полуострова. // Сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2005. – С. 62–72.
- Щербаков Ф. А. Материковые окраины в позднем плейстоцене и голоцене. М., Наука, 1983. – 213 с.
- Щетинин Ю. Т., Кондратьев С. И., Долотов В. В. и др. Субмаринные источники пресной воды Южного Берега Крыма. Исследование шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь, изд. МГИ, 1995. – С. 116–124.
- Юдин В. В. Палеогеодинамика Крыма, прилегающих акваторий и территорий. // Геологический журнал, 1996, № 3–4. – С. 115–119.
- Юдин В. В. Геологическое строение Крыма на основе актуалистической геодинамики. Препринт. Изд. Крымской академии наук, 2001 а. – 47 с.
- Юдин В. В. Пассивные окраины юга и востока Европы. // Геология і геохімія горючих копалин. – 2001 б. – № 3. – С. 34–41.
- Юдин В. В. Геодинамика Черноморско-Каспийского региона (монография). Киев, УкрГТРИ, 2008. 117 с
- Юдин В. В. Геодинамика Крыма. – Симферополь, «ДИАЙПИ», 2011. – 336 с.
- Юдин В. В., Герасимов М. Г., Бондарчук Г. К. Южнокрымская олистострома. ДАН РАН. – 2000. – № 3. – С. 358–361.
- Юровский Ю. Г. Гидрогеологические исследования в прибрежной зоне моря при изучении субмаринной разгрузки подземных вод (временные методические рекомендации). МинГео УССР ИМР. – Симферополь, 1984 а. – 81 с.
- Юровский Ю. Г. Современные задачи изучения субмаринной разгрузки подземных вод. // Тез доклада 27 геологического конгресса. – М., 1984 б. – С. 388–389.
- Юровский Ю. Г. Экология и перспективы развития рекреационных зон Керченского полуострова. // Проблемы экологии и рекреации Азово-Черноморского региона: Сб. науч. тр. – Симферополь, «Таврида», 1995. – С. 236–238.
- Юровский Ю. Г. К оценке геохимического фона при эколого-геологическом картировании донных отложений прибрежно-морских зон. // Тезисы доклада международной научно-практической конференции «Экологические аспекты загрязнения окружающей природной среды». Часть 1. – К.: 1996. – С. 132–133.
- Юровский Ю. Г. Субмаринне развантаження підземних вод у конусах виносу річок південно східного Криму. // Минеральні ресурси України., № 2, 1996. 6- С. 22.
- Юровский Ю. Г. Оценка величины субмаринной разгрузки карстовых вод в районе мыса Айя. // Морской гидрофизический журнал. – 1998. – № 3. – С. 78–80.
- Юровский Ю. Г. Катастрофические подвижки оползней на морских побережьях. // Материалы международного научно-практического семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий». Часть 1. К.: изд. Общества Знание, 1999 а. – С. 148–149.
- Юровский Ю. Г. Критерии экологического состояния морских вод и донных осадков. // Сб. научных трудов МГИ НАН Украины «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 1999 б. – С. 298–306.
- Юровский Ю. Г. Промытность коллекторов и гидро-газогеохимические исследования. // Сб. «Геодинамика и нефтегазоносность системы Черноморско-Каспийского региона. – Симферополь: «Таврия-Плюс», 2001 а. – С. 196–199.





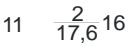



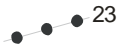

- Юровский Ю. Г.* Изучение системы берег-море в северо-западном Крыму. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.//Сб. научных трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2001 б. – С. 154–165.
- Юровский Ю. Г.* Естественные интрузии морских вод.//Сб. научных трудов УкрГ-ГРИ. – К., 2006. – № 3. – С. 136–142.
- Юровский Ю. Г., Юровская Т. Н.* К вопросу о субмаринной разгрузке термальных подземных вод. Методы гидрогеологических исследований, СМБ научных трудов ЛГМИ, Л., ЛГМИ, 1974. – С. 131–140.
- Юровский Ю. Г., Луцик А. В., Морозов В. И.* Субмаринная разгрузка подземных вод и газов на северо-западном побережье Крыма.//Доклады АН УССР. – 1986 а. – № 3. – С. 23–26.
- Юровский Ю. Г., Юровская Т. Н.* Субмаринная разгрузка трещинно-карстовых вод в юго-западном Крыму.//Геологический журнал. – 1986 б. – № 5. – С. 58–63.
- Юровский Ю. Г., Шкандрий Б. О., Чухлов Б. Г.* Выявление разрывных нарушений газо-геохимическими методами в прибрежной зоне моря.//Доклады АН УССР. – 1989. – № 10. – С. 28–30.
- Юровский Ю. Г., Вальтер Н. А.* Новые данные о грязевулканической деятельности в Темрюкском заливе Азовского моря.//Доклады АН УССР, 1991. – С. 87–93.
- Юровский Ю. Г. Байсарович И. М.* Геоэкологические исследования в замыкающих створах малых рек, на примере юго-восточного Крыма.//Геологический журнал, № 2, 1995.- С. 56–60.
- Юровский Ю. Г., Байсарович И. М., Щетинин Ю. Т., Кондратьев С. И.* Мониторинг субмаринных источников в районе м. Айя. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.//Сб. научных трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2000. – С. 46–52.
- Юровский Ю. Г., Байсарович И. М.* Субмаринная разгрузка подземных вод и водный баланс.//Экологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 2. – С. 71–79.
- Юровский Ю. Г., Байсарович И. М.* Гидрогеология прибрежной зоны. – Симферополь: «ДИАЙПИ», 2005. – 180 с.
- Aggarwal P. P., Gat J. R., Frochlich K. R.* Isotopes in the water cycle: past, present and future of development science. Dordrecht, Springer, 2005. – 381 p.
- Barnett W. C., Taniguchi M., Oberdorfer J.* Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone. J. Sea Res., 2001, 46/2. – P. 109–116.
- Barnett W. C., Dulaiova H.* Radon as a tracer of submarine groundwater discharge into a boat basin in Djnnaucata, Sicily. Cont. Shelf red. 26, 2006. – P. 862–873.
- Baysarovych I. M.* Formation and submarine freshwater discharge from karstic fissured aquifers within shelf zones of seas and oceans.//Сб. статей 30-й международной конференции «Мир на морях». – Севастополь: «Экоси-гидрофизика», 2004. – С. 21–29.
- Bokuniewich H.* Groundwater seepage into Great South Bay, New-York – Estuarine and coastal marine science, 1980, vol. 10, № 4.-P. 437–444.
- Bokuniewich H. J.* Analytical description of subaqueous groundwater seepage. Estuaries, 1992; 15: P.458–464.
- Burnett W. C., Taniguchi M., Oberdorfer J.* Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into a coastal zone. J. Sea Res. 46/2, 2001. – P. 109–116



- Cable G., Bugna G., Chanton J.* Application of ^{222}Rn and CH_4 for assessment of groundwater discharge to the coastal ocean/Limnol. Oceanogr, 1996a, 41:1347–53.
- Cable J. E., Burnett W. C., Chanton J. P., Weatherly G. L.* Estimating groundwater discharge into the northeastern Gulf of Mexico using radon – ^{222}Rn . Ears Planet Sci. Lett., 1996 6,144. P. 591–604.
- Capone D. O., Bautista M. E.* A groundwater source of nitrate in near shore ma-rine sediment Nature, 313, 5999 (1), 1985. – P. 399–409.
- Cooper H. H.* A hypothesis concerning the dinavic dalance fresh water fnd sakt water in a coastal aquifer. Journal of Geophysical Research, 1959, 64.4. p. 461–467
- Council* directive of 8 december 1975 concerning the quality bathing water//Official Journal of the European Communitis 31/7 (February), 1976. – 37 p.
- Dulaiova H., Peterson R., Barnett W. C.* A multi – detector continuous monitor for assessment of ^{222}Rn in the coastal ocean. J. Radioanal. Nucl., 2005, 263 (2). – P. 361–365. <http://www.ecomm.kiev.ua>
- Fucuo Y., Kaihotsi L. A.* theoretical analysis of seepage flow of the confined groundwater into the lake bottom. Water Resours Res., 1988, 4. P.1949. – 1953.
- Herzberg A.* Wasserversorgung einiger Nordseebader. Journal Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1960. 44. p. 815–819, 842–844.
- Hubbert M. K.* The teory of graund-watermation. Journal of Geology, 1940. 48, 8 –p.7895–844.
- Huntoon P. W., Landay A.* Fracture – Controlled groundwater circylation and well siting in the Vicinity of Laramy. Wyoming. Graund water, 17, № 5, 1979. – P. 463–469.
- Hussein N., Gust G., Kim G.* Use ^{222}Rn and ^{226}Ra to trace submarine groundwa-ter discharge into the Chesapike bay. Mar. Chem. 05, 1999. – P. 127–134.
- Hydrology* of Utah Lake with emphasis on Goshen Bay, Salt Lake Sity: Utah Geol and Mineral Survey, 1980. – 23 p.
- Iohannes R. E., Hern C. J.* The effect of submarine groundwater discharge on naturient and salinity regimes in a coastal lagoon of Pert, Western Australia. Es-tuar coast and shelf esi., v.21, 6, 1985. – P. 789–800.
- International Symposium.* Low – Lying coastal areas hydrology and integrated coastal zone management. 9–12 September 2002, Bremerhaven, Germany. Ab-stract. – 6 p.
- Glover R. E.* The pattern of fresh water flow in a coastal aquifer. Journal of Geophysical Research, 1959, 64.4 p. 457–459.
- Kim G., Howard D. W.* Tidal pumping of groundwater into the coastal ocean revealed from submarine ^{222}Rn and CH_4 monitoring. Geophys. Res., Lett., 2002. 29 doi:10.1029/2002GL015093.
- Kohout F.* Submarine springs. In The Enciclopedia of oceanography. NY., 1966. P/878–883.
- Lack M. A., John P. H.* The measurement of groundwater discharge into a lake by direct methods. – Int. Rev. Hudrobiol., 1978, vol. 63, № 2. – P. 271–275.
- Lee D. K.* A device for measuring seepage flux in lake and estuaries.– Limnol. oceanogr., 1977, vol. 22. – P. 140–147.
- Levi – Palomo I., Commanducci J. F., Povinec P. P.* Investigation of submarine groundwater discharge in Sicilian and Brasilian coastal waters using underwater gamma spectrometr. Book of extended synopses, Vienna: IAEL, 2004. – P. 228–229.
- Matsubara S.* Stadies of the coastal groundwater. I On the contact surface of fresh salt water under the ground near a sandy sea – shore. «Reclamatio and Meliorat.», 1958, № 4, P. 50–57.

- Moore W. S. Large groundwater inputs to coastal waters revealed by 226Ra enrichments. *Nature*, 1996, 380. – P. 612–614.
- Orabona E., Cotecchia V. 1957. О стратификации пресных подземных вод, залегающих на более глубоких соленых подземных водах вблизи морских побережий. // «Реф. Журнал», 1961, 2 Д37, P. 4–13.
- Paulsen R. J., Smith C. F., O'Rourke D., Wong T. Development and evaluation of an ultrasonic ground water seepage meter. *Ground Water*, 2001, 39. – P. 904–911
- Sholkovitz E. R., Herbold C., Sharette M. A. An automated dye-dilution based seepage meter for the time-series measurement of submarine groundwater discharge. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 2003. – P.17–29.
- Quality criterion for water. US EPA, 1976. – 501 p.
- Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. Review. Burnett W. C., Aggerwal P. K., Aureli A. et al. *Science of the total Environment* 367, 2006. – P. 498–543.
- Shverdfeger B. K. In the occurrence of submarine fresh water discharges. *Jarbuch. Hannover*, 1981. – P. 231–240.
- Submarine groundwater discharge. Management implications, measurement and effects. UNESCO, Paris, 2004. – 35 p.
- Submarine groundwater discharge. UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater № 5, IOC Manuals and Guides № 44, Paris, 2004. – 36 p.
- Taniguchi M., Iwakawa H. Measurement of submarine groundwater discharge rates by a continuous heat-type automated seepage method in Osaka Bay, Japan. *J. groundwater hydro* 2001, 43. – P. 271–277.
- Taniguchi M., Barnett W. C., Cable J. E., Turner J. V. Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrol. Process.*, 2002; 16; 2115–29.
- Underlines for Canadian recreational water quality/Canadian Government. Series for the federal – provincial working group on recreation water quality. 1983. – P. 35–57.
- Zektser I. S., Dzamalov R. G. Submarine groundwater. US CRC Press, 2006. - 460 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

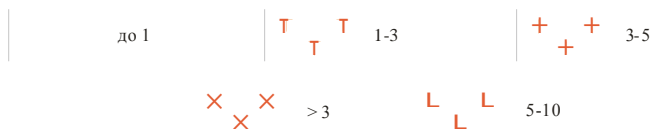
Дополнительные условные обозначения к гидрогеологической карте шельфа

	<p>зона субмаринной разгрузки перетеканием. Цифры: в числителе суммарная величина разгрузки м³/сут., в знаменателе – минерализация подземных вод г/дм³; справа – температура °С</p>
	<p>субмаринный источник. Цифры: в числителе – дебит м³/с, в знаменателе – минерализация г/дм³, справа – температура °С, слева – глубина морской воды(м)</p>
	<p>зона дисперсии</p>
	<p>станция опробования донных отложений. В числителе – номер страницы, в знаменателе минерализация поровых вод г/дм³, справа – температура °С, слева – глубина морской воды (м)</p>
	<p>станция опробования придонного слоя морской воды. Вверху – номер страницы, в низу - минерализация поровых вод г/дм³, справа – температура, °С, слева – глубина морской воды (м)</p>
	<p>станция комплексного опробования поровых и придонных вод и ее номер. В числителе – минерализация поровых вод г/дм³ и температура °С. В знаменателе – минерализация вод придонного слоя г/дм³ и температура °С. Слева – глубина морской воды (м)</p>
	<p>станция установки фильтрометров, внизу глубина морской воды (м)</p>
	<p>скважина</p>
	<p>положение отдельных маршрутов подводной съемки</p>
	<p>изобата</p>











	границы полигона подводных исследований и номер полигона
	береговая линия
	выход спонтанного газа
	площадь спонтанно выделяемого газа
	подводный грязевой вулкан
	гидроизогипса
	периодически возникающие интрузии морских вод в сторону суши обусловленные повышением уровня моря (штормовые нагоны, приливы)
	существующие длительное время интрузии вызванные мелиоративными мероприятиями и положением уровня подземных вод за счет откачек
	профили сейсморазведки
	профили геотермических исследований
	профили сейсмоакустики
	древние каньоны-русла
	участки внедрения морских вод в водоносные горизонты во время штормовых нагонов

Минерализация и химический состав подземных вод







Минерализация воды первых от поверхности водоносных горизонтов прибрежно-береговой зоны г/гм³



Химический тип воды в опорных водопунктах

	Гидрокарбонатный ($\text{HCO}_3 > 50\%$ - экв; $\text{Cl}, \text{SO}_4 < 20\%$ - экв)
	Сульфатный ($\text{SO}_4 > 50\%$ - экв; $\text{HCO}_3, \text{SO}_4 < 20\%$ - экв)
	Хлоридный ($\text{Cl} > 50\%$ - экв; $\text{HCO}_3, \text{SO}_4 < 20\%$ - экв)
	Хлоридно-гидрокарбонатный ($\text{HCO}_3 > \text{Cl} > 20\%$ - экв $> \text{SO}_4$.)
	Сульфатно-гидрокарбонатный ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > 20\%$ - экв $> \text{Cl}$.)
	Гидрокарбонатно-сульфатный ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > 20\%$ - экв $> \text{Cl}$.)
	Хлоридно-сульфатный ($\text{SO}_4 > \text{Cl} > 20\%$ - экв $> \text{HCO}_3$.)
	Сульфатно – хлоридный ($\text{Cl} > \text{SO}_4 > 20\%$ - экв $> \text{HCO}_3$.)
	Гидрокарбонатно-хлоридный ($\text{Cl} > \text{HCO}_3 > 20\%$ - экв $> \text{SO}_4$.)
	Сведения о химическом составе воды отсутствуют

Гидрогеологические свойства разрывных нарушений

а	б		
		водопроницаемые	а – установленные
а	б		
		барражи	б – предполагаемые
а	б		
		гидрогеологически не изученные	

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Юрий Георгиевич Юровский

Доктор геолого-минералогических наук, кандидат географических наук, профессор Национальной академии природоохранного и курортного строительства в Симферополе. Лауреат премии Министерства геологии СССР, почетный разведчик недр Украины, действительный член Крымской Академии наук. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт и Ленинградский горный институт. Работал и руководил экспедициями на шельфах Охотского, Японского, Баренцева, Черного и других морей. Автор 205 научных работ, из них 165 опубликовано.

Область научных интересов: морская геология, морская гидрогеология, экология.

Электронная почта: yurovsky_yury@mail.ru

Наукове видання

ЮРОВСЬКИЙ Ю. Г.

**ПІДЗЕМНІ ВОДИ ШЕЛЬФУ
завдання і методи вивчення**

монографія

(Російською мовою)

Формат 60x84 /16. Ум. друк. арк. .
Тираж 300 пр. Зам. № 573\573.

Видавець і виготовлювач: ТОВ «ДІАЙПІ»
пр. Кирова, 17, м. Сімферополь, 95011
тел./факс (0652) 248-178, 711-687
dip@diprint.com.ua, www.diprint.com.ua

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №1744 від 8.04.2004 р.