

ГИДРОГЕОЛОГИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Симферополь, 2005

Ю.Г. Юровский

И.М. Байсарович

Министерство образования и науки Украины
Национальная академия природоохранного
и курортного строительства

Юровский Ю.Г., Байсарович И.М.

Ю 78 Гидрогеология прибрежной зоны – Симферополь:

«ДиАйПи», 2005. – 180 с., табл. 24, ил. 42, список лит. 148 назв.

ISBN: 966-8180-

УДК 556.3:551.417(26)

Все права закреплены. Ни одна из частей этой книги не может быть воспроизведена, сохранена в системе информационного поиска или передана в каком бы то ни было виде каким бы то ни было способом – механическим, электронным, фотокопировальным или любым другим – без предварительного письменного согласия авторов.

Рекомендовано в качестве учебного пособия Ученым советом Национальной академии природоохранного и курортного строительства 23.04.2004, протокол №3.

Рецензенты:

Рудько Георгий Ильич – доктор геолого-минералогических наук, председатель Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Украины

Кошляков Алексей Евгеньевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, зав. кафедрой «Гидрогеологии и инженерной геологии» геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

Ю 78

В монографии рассматриваются вопросы взаимодействия подземной гидросферы и океана. Широкий круг вопросов, включающих влияние гидрогеологических процессов на формирование современного облика побережий, экзогенных процессов и многих других изложен в 12 главах, объединенных общей идеей. В работе приведены оригинальные теоретические решения и результаты натурных наблюдений авторов. Анализируются опыт и результаты исследований в этой области отечественных и зарубежных ученых. Монография предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся изучением взаимодействия поверхностных и подземных вод, студентов университетов. Она может быть рекомендована также в качестве дополнительного учебного пособия.

ISBN: 966-8180-

© 2005 Юровский Ю.Г., Байсарович И.М.

© 2005 ООО «ДиАйПи» (оформление).

GROUNDWATER HYDROLOGY OF NEARSHORE ZONE

Yuri G. Yurovsky

Irina M. Baysarovich

Simferopol, 2005

В монографії розглядаються питання взаємодіяння підземної гідросфери та океану. Широке коло питань, включаючи вплив гідрогеологічних процесів на формування сучасного вигляду узбережжій, екзогенних процесів і багатьох інших викладено в 12 главах, об'єднаних загальною ідеєю. В роботі надані оригінальні теоретичні вирішування і результати натурних спостережень авторів. Аналізуються досвід та результати досліджень в цієї галузі вітчизняних ті закордонних вчених.

Монографія призначена для широкого кола фахівців, які займаються взаємодіянням поверхневих та підземних вод, студентів університетів. Вона може бути рекомендована також як додатковий учбовий посібник.

The issues of hydrosphere and ocean interaction are discussed in the monograph. A wide range of problems, including an influence of hydrogeological processes on forming of modern seaboard aspect, exogenous processes and many others, are stated in 12 chapters joint by general idea. The original theoretical considerations and results of authors' investigations in-situ are presented. The experience and results of research works in this field of native and foreign specialists were analyses.

The monograph is meant for specialists dealing with surface and groundwater interaction, as well as students of universities. She may be recommended as additional educational manual.

ВВЕДЕНИЕ

Вторая половина двадцатого столетия знаменательна для геологов рядом открытий, которые существенно изменили устоявшиеся представления о планете Земля. Само название планеты достаточно условно, поскольку около двух третей её поверхности занимает океан. Изучение дна океана позволило достоверно установить существенные различия в строении континентальной и океанической коры, отличающихся также по толщине и возрасту. Открыть глобальную систему рифтов, объяснить происхождение горячих точек (плюс тектоника) и многое другое. Современники этих открытий стали свидетелями научной революции в геологии, формировании новой концепции эволюции земной коры, названной Теорией литосферных плит. Эффективность исследований была обуслов-

лена новыми технологиями и техническими средствами. К ним, в первую очередь, можно отнести постройку научно-исследовательского судна «Гломар Челенджер» с установкой глубоководного бурения, развитие геофизических методов (сейсморазведочного, палеомагнитного, гравиметрического), постройку глубоководных обитаемых аппаратов и ряд других.

В изучении прибрежной зоны океанов и морей огромные перспективы появились после изобретения в 1943 году акваланга. Несмотря на то, что глубина погружения при использовании сжатого воздуха ограничивается 40 метрами, общая площадь дна, открывшаяся для непосредственных наблюдений, в пересчете на глобальную протяженность береговой линии сопоставима с площадью Африканского континента.

Практически одновременно с возникновением новой геологической дисциплины – морской геологии (геология океанов и морей) появилась и морская гидрогеология. В семидесятых годах были сформулированы основные задачи морской гидрогеологии, в число которых входят:

1. Оценка подземного стока в морские и океанические впадины.
2. Изучение формирования подземных вод в геологических структурах находящихся под уровнем моря.

6 Гидрогеология прибрежной зоны

3. Гидродинамические и гидрохимические аспекты взаимодействия подземных и морских вод.
4. Оценка гидрогеологической активности дизъюнктивных нарушений и другие.

Перечисленные задачи дополняют, а порой и полностью совпадают с задачами континентальной гидрогеологии. Например, в методике гидрогеологической съемки, в разделе «гидрогеологические наблюдения» первая задача сформулирована как «изучение взаимосвязи подземных и поверхностных вод» (Справочное руководство гидрогеолога, 1979, т.2, стр. 10). Раздел «гидрологические наблюдения» в морской гидрогеологии называется «океанологические наблюдения». Таким образом, к вполне привычным для гидрогеолога дисциплинам прибавляется новая – океанология.

Прибрежная зона – неотъемлемая часть океанов и морей. Следовательно, автоматически включает в себя все направления и задачи морской гидрогеологии.

Прибрежная зона одновременно и неотъемлемая часть приморских территорий, следовательно, включает все направления и задачи гидрогеологии, традиционно изучающей подземные воды суши. Причины, по которым прибрежная зона выделяется в отдельный объект исследований, изложены в первой главе настоящей работы. Одной из отличительных черт прибрежной зоны является урез, разделяющий её на две части – субмаринную (субаквальную) и субэральную. Заметим, что урез – уникальная граница трех оболочек Земли: гидросферы, литосферы и атмосферы. Именно с такой позиции, как граница не двух, а трех сред, он практически не изучался. Среди других причин выделения прибрежной зоны в самостоятельный объект исследований можно назвать:

1. В отличие от шельфа, в прибрежной зоне более активно протекают процессы взаимодействия подземных и морских вод.
2. Геологическое строение и гидрогеологические условия береговой части прибрежной зоны хорошо изучены, что позволяет экстраполировать их в акваторию и, наоборот, субмаринные наблюдения – на сушу.
3. Очевидная практическая значимость исследований. В самом деле, морские побережья интенсивно осваивались человеком уже в античные времена. Их освоение продолжается и сейчас –

Введение 7

строятся современные порты и терминалы, прокладываются коммуникации, нефте- и газопроводы, объекты рекреации и др. Прибрежная зона является также основным биоресурсным элементом морей.

Хозяйственное освоение побережий неразрывно связано с увеличением потребления пресной воды. В условиях повсеместного загрязнения поверхностных водотоков и водоемов подземные воды являются единственным резервом в водообеспечении. Для этого необходимы точные оценки эксплуатационных ресурсов и запасов. На приморских территориях расчеты должны проводиться с учетом характера взаимодействия подземных и морских вод, возможно точной оценкой величины субмаринной разгрузки подземных вод. В засушливых регионах отсутствие местных источников воды вынуждает проводить дорогостоящие мероприятия по доставке воды танкерами, строить опреснительные установки, прокладывать трубопроводы-водоводы на большие расстояния. При этом резко воз-

растает стоимость воды. По оценкам специалистов, средняя стоимость опресненной морской воды в настоящее время составляет 1 американский доллар за кубический метр. Еще в недавнее время, до постройки опреснительных установок, нефть в Кувейте и Абу-Даби стоила гораздо дешевле привозимой из Ирака воды. В связи с дефицитом пресной воды во многих странах рассматриваются даже такие фантастические проекты, как транспортировка буксирами арктических и антарктических айсбергов (Южная Африка, Аравийские страны, Австралия, США).

Морские и океанические впадины являются самыми глубокими дренами на Земле. Это глобальный приемник не только поверхностного, но и подземного стока. Без учета объема подземного стока в моря и мировой океан любые балансовые расчеты будут неточными. Не полными будут и представления о глобальном круговороте воды на земле. Не менее важны и частные случаи. Например, в приморских районах определение положения границы раздела пресных подземных и соленых морских вод (зона дисперсии) позволяет контролировать работу крупных водозаборов, избегать угрозы выхода их из строя в случае попадания морской воды в воронки депрессии. Все вышесказанное можно свести к одной фразе – тезису В.И. Вернадского, гласящему: «Все природные воды суть едины».

8 Гидрогеология прибрежной зоны

В настоящей монографии авторы попытались обобщить опыт проведения морских гидрогеологических исследований, как в Украине, так и за рубежом. Значительная часть работы основывается на собственных наблюдениях, в том числе опубликованных в виде тезисов, статей и препринтов, труднодоступных широкому читателю. Некоторые положения, изложенные в них, были пересмотрены, другие дополнены фактическим материалом, полученным в процессе дальнейших исследований.

Морские работы, трудоемкие, а порой опасные для жизни наблюдения были бы невозможны без многочисленного отряда специалистов-подводников, выполнявших сложные экспериментальные исследования под водой, добровольных помощников, изготавливавших и испытывавших оригинальное оборудование и приборы. Всем им авторы приносят искреннюю благодарность. Авторы также признательны коллегам за консультации и поддержку в работе – докторам геолого-минералогических наук А.И. Короткову и В.В. Юдину.

Книга рассчитана на специалистов гидрогеологов, инженеров-геологов, занимающихся изучением морских побережий, студентов геологических факультетов высших учебных заведений.

Глава 1.

ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА. ПОНЯТИЙНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Изучение любого природного объекта обычно начинается с определения его сущности и границ распространения в пространстве и во времени. В зависимости от дисциплинарной направленности, определения и терминология могут существенно отличаться друг от друга, а границы смещаться в ту или иную сторону. Прибрежная зона не является исключением и скорее подтверждает это правило.

С точки зрения геолога, прибрежная зона является частью континентальных структур, погруженных под уровень моря. С точки зрения морского геолога – верхней частью шельфа, то есть участком земной коры континентального типа. С точки зрения океанолога – «береговой зоной», отличающейся от шельфа диссипацией волновой энергии и специфическим режимом вдольбереговых течений. С точки зрения гидрогеолога – это область взаимодействия подземных и морских вод. С точки зрения морского геоморфолога – зона со специфическими надводными и подводными формами рельефа образованного экзогенными процессами. С точки зрения географа – литораль или приливно-отливная зона (*litoralis* – от латинского берег). Можно привести точки зрения других специалистов, например, литодинамика, инженера-геолога и других, однако они не внесут ясность в сущность определения.

Анализируя приведенные выше точки зрения с позиции специалиста-«водника», будем под термином «прибрежная зона» понимать область сопряжения океана и суши, характеризующуюся динамическим взаимодействием подземных и морских вод, активным водообменом в границах – от начала диссипации энергии морских волн до пределов проникновения морских вод в сторону суши.

Данное определение отражает лишь общий смысл термина и требует пояснений. В прибрежной зоне различают пять основных типов морских волн: ветровые, зыби, барические, краевые и внутренние. Как известно из классической волновой теории, движение частиц воды при условно-бесконечной глубине моря носит орбитальный характер. Над наклонным дном прибрежной зоны орбитальные

10 Гидрогеология прибрежной зоны

движения частиц вначале искажаются с одновременным изменением профиля волны. С началом нарушения орбитального движения частиц часть волновой энергии передается на дно и поровые воды донных отложений, которые, в свою очередь, гидравлически связаны с подземными водами. Энергетические импульсы в твердой и жидкой средах распространяются с разной скоростью и постепенно затухают к внешним границам прибрежной зоны. Полное разрушение волн происходит в прибое, заканчиваясь заплеском части волны на пляж. На мелководьях и над гребнями баров обрушение волны может происходить несколько раз с последующим восстановлением над ложбинами и окончательным разрушением на пляже.

Какой же тип волнения выбрать для установления границ прибрежной зоны? Повторяемость сильных волнений для морей северного полушария приходится на зимний период. Для Черного моря в это время однопроцентной или чуть меньшей повторяемости соответствуют волны высотой 6 м. По экспериментальным данным взаимодействие их с дном начинается с глубины 35 м, т.е. приблизительно с шестикратной высоты волны. Таким образом, изобату 35 м можно принять за внешнюю (морскую) границу прибрежной зоны. Положение этой границы достаточно условно, так как максимальная расчетная волна, образующаяся один раз в 110 лет, может достигать высоты 15 м [63]. Не принимая во внимание достоверность расчетов, отметим, что при столь редких событиях и их краткосрочности реальным влиянием таких волн на изменение взаимосвязи подземных и морских вод можно пренебречь.

Границу подземных вод на суше можно определить по выклиниванию подпора потока подземных вод, создаваемого приливными, сейшевыми (барическими) и нагонными (ветровыми) явлениями при ненарушенном режиме подземных вод. А при нарушенном – по дальности проникновения языка морских вод (интрузии) в сторону суши. В первом случае удаление от уреза границы контролируется проницаемостью водовмещающих пород, высотой и длительностью подпора. Удаление это может составлять от нескольких десятков метров до 600–1000 м в карстовых коллекторах высокой проницаемости. Во втором случае удаление границы от уреза может быть существенно большим. Так, на полуострове Флорида в результате осушительных работ уровни грунтовых вод были

Глава 1. Прибрежная зона. 11

значительно снижены. Фронт соленых вод продвинулся в глубь полуострова на 18 км [42].

Принимая во внимание изложенные факты, допущения и предположения, сформулируем определение прибрежной зоны следующим образом. Прибрежная зона – природная система, в пределах которой прослеживается влияние атмосферных (осадки, волнение моря, штормовые нагоны, сейши), планетарных (приливно – отливные явления) и антропогенных (откачки, мелиоративные работы, регулирование поверхностного стока) явлений на взаимодействие подземных и морских вод. Структурными элементами системы являются подземные воды, водовмещающие породы, включая современные донные отложения и морские воды. Границы системы не постоянны во времени и пространстве и являются условно открытыми, в том числе снизу, так как не препятствуют образованию вод смешенного типа. Воды такого типа образуются при разгрузке подземных вод глубоких водоносных горизонтов, проникающих в прибрежную зону по тектоническим нарушениям или «гидрогеологическим окнам», эруптивному аппарату грязевых вулканов и в fumarольных образованиях современного вулканизма.

Выделение прибрежной зоны было бы неполным без терминологического анализа. Например, термины «прибрежная зона» и «береговая зона» могут обозначать у разных авторов как участок суши, так и участок акватории, в зависимости от того, с какой стороны, с суши или с моря, рассматривается объект. Для сравнения терминов можно применить метод, предложенный Н.В. Миловидовой [66], основанный на приемах формальной логики и общих понятийных признаках. Содержание понятий с соответствующей символикой (табл. 1.1) запишем следующим образом:

(1.1)

и

, (1.2)

где “&” – конъюнкция, “ \supset ” – импликация, “–” – отрицание.

Импликация в первом случае показывает, что если береговой обрыв представляет собой вертикальную стенку с глубиной у уреза, включающей действие волновых нагрузок на дно, то понятие «при-

Содержание понятий «прибрежная» и «береговая» зоны с индексами понятийных признаков.

I прибрежная зона II береговая зона

индекс формулировка индекс формулировка

A_x

Область взаимодействия подземных и морских вод.

A_x

Область взаимодействия подземных и морских вод.

B_x

Находится 84 м под уровнем моря и включает в себя подводную часть пляжа, пляж ниже заплеска и часть суши до границы выклинивания подпора, создаваемого одиночными волнами.

B_x

Находится ниже уровня моря, включает в себя надводную часть пляжа выше заплеска (без учета сгона, нагона, цунами, сейш, т.е. эпизодических событий).

C_x

Испытывает передачу волновых нагрузок на дно с морской границей (ветровые волны).

C_x

Испытывает вибрационное воздействие волнения. Границей является область реального

воздействия оди-
ночных волн.

D_x

Характеризуется высо-
кой динамикой водных
масс и литодинамиче-
ской активностью.

D_x

Характеризуется
активными абрази-
онно-аккумулятив-
ными процессами
(с учетом сгонов,
нагонов, цунами).

E_x

Отличается от средних
зон составом и сорти-
ровкой современных от-
ложений.

E_x

Не отличается от
п р и м ы к а ю щ и х
континентальных
структур по разре-
зу и геологическо-
му строению.

Глава 1. Прибрежная зона. 13

брежная зона» практически не будет выражено. Во втором случае им-
пликация оговаривает вариант «если» – если нет сгонов, нагонов, цу-
нами, сейш (эпизодических событий), то береговая зона включает в
себя надводную часть пляжа, а в случае D_x определяет границу, про-
водимую на суше. Для дальнейшего уточнения понятий можно вве-
сти в действие операционный знак V_x – дизъюнкции и т. д.

Анализируя определение термина «береговая зона», Г.А. Са-
фьянов [81] справедливо замечает, что хотя важнейшим признаком
ее выделения считается энергетическое (механическое) взаимодей-
ствие морских вод и донных отложений, он (признак) не представ-
ляет собой универсального механизма для береговой зоны океана
в целом. В противном случае из понятия береговой зоны пришлось

бы исключить закрытые бухты, лагуны, эстуарии, фьорды, где волновое воздействие минимально. Замечание целиком относится и к прибрежной зоне.

Существует и ряд других разночтений и неопределенностей в понятии «береговая зона». В качестве подтверждения этого приведем одну цитату из терминологического справочника: «...Береговая зона (*nearshore zone*) – это прибрежная полоса моря и заливаемой при волнении суши со специфическими формами рельефа, создаваемыми под преимущественным воздействием волн, которые трансформируясь и разрушаясь в пределах данной полосы вследствие уменьшения глубины расходуют энергию в основном на переформирование подводного берегового склона и берега, на перемещение прибрежно-морских наносов и на построение аккумулятивных форм». И далее без перехода: «Береговая зона (*coastal zone*) состоит из трех геоморфологических элементов – берега, подводного склона и пляжа». Обратим внимание на логическое несоответствие: в начале это прибрежная полоса моря и заливаемая при волнении суша, затем из прибрежной она без всякой аргументации превращается в береговую, хотя англоязычная трактовка *near* – около, рядом, при; *shore* – берег, то есть околобереговая, прибрежная зона – вполне однозначна.

Аналогичные разночтения возникают и при использовании других терминов, однако, они не должны влиять на их смысловое содержание.

· Морская геоморфология. Терминологический справочник. – М., Мысль, 1980. – С.8

14 Гидрогеология прибрежной зоны

Гидрогеологические исследования морского дна обусловили появление в литературе новых терминов и понятий. Причем в разных изданиях одни и те же объекты и явления назывались по-разному. Это характерная особенность любой молодой науки, к числу которых относится и морская гидрогеология. Некоторые удачные названия сразу прижились. Так, под черными курильщиками (*black smoker*) однозначно понимаются глубоководные термальные источники, воды которых обогащены солями ряда металлов, включая сульфиды, придающие им черный цвет. Специальным терминам в гидрогеологии прибрежной зоны повезло меньше. Поэтому, ниже приводятся понятийные определения наиболее часто встречающихся в работе терминов.

Аномалии – под этим термином понимаются реально определяемые в природных условиях области смешения подземных и морских вод. По положению в толще морских вод аномалии подразделяются на придонные, взвешенные и поверхностные, причем независимо от стратификации вмещающей среды. Придонными считаются такие образования, продольные размеры которых значительно больше высоты над уровнем дна. Тип аномалий – температурные, химические, геофизические и другие – в тексте оговаривается отдельно.

Грифон – локальное углубление в рельефе дна, вызванное деятельностью субмаринного источника. Отдельные крупные трещины в обнажениях коренных пород, в том числе на стенках подводных карстовых полостей с фиксируемой разгрузкой подземных вод, будем называть выходами (*outfalls*). Действующие грифоны – синоним субмаринные источники (*submarine springs, source, ets.*). Различают открытые и закрытые, т.е. заполненные наносами грифоны. К термину грифоны можно добавить углубления в рельефе дна, образованные спонтанно выделяющимися газами. В отдельных работах грифонами называют эруптивные центры грязевых вулканов как надводных, так и подводных.

Факел – термин предложен Ю.Г.Юровским в 1968 г. для аномалий имеющих вертикальное развитие в толще морской воды. У других авторов – струя (*jet*), поток (*flow, outflow, ets*), в отдельных работах иностранных авторов для субаквальных выходов сточных вод используется термин *plume*, который, в принципе, можно перевести как факел. Внешние стабилизированные формы факелов в стратифицированной спокойной среде имеют 6 основных форм, три из которых достигают поверхности [106, 107]. Факелы, не достигающие поверхности моря, называются затопленными.

Ядро факела – характерная гидродинамическая область в устье грифона, имеющая форму конуса. В пределах ядра сохраняются стабильными основные физико-химические параметры разгружающихся вод (температура, плотность, минерализация, компонентный состав). Высота ядра зависит главным образом от величины гидростатического напора на уровне дна грифона (рис.1.1).

Рис.1.1. Динамическая структура осесимметричного факела.

1. Ядро факела. 2. Факел. 3. Грифон. 4. Распределение средних параметров.

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

Рассредоточенная разгрузка – вертикальная фильтрация через перекрывающие водоносный горизонт современные донные отложения. Синоним – разгрузка перетеканием.

Внедрение морских вод – проникновение морских вод в сторону суши по коллекторам, сопровождающееся вытеснением пресной воды. Синоним – интрузия морских вод.

Наносы (помимо взвешенных и влекомых) – все минеральные образования в пределах деятельного слоя.

Деятельный слой – современные неконсолидированные осадки испытывающие непосредственное механическое воздействие морских волн, разуплотняющих их до плавунного, иногда частично взвешенного состояния. Нижняя граница этого слоя определяется профилем равновесия или так называемой нулевой поверхностью, теоретически не испытывающей деформаций при штормовых волнениях.

Определяя предмет исследований, его внутреннюю структуру и границы, следовало бы ответить на вопрос о его месте в региональных исследованиях дна морей и океанов. Воспользуемся классификационными построениями приведенными в работе В.А.Кирюхина и Н.И.Толстихина [49]. Согласно последней, прибрежная зона относится к широкораспространенным гидрогеологическим структурам, часть из которых расположена под уровнем моря, а другая выходит на поверхность суши на континенте или островах. Авторы называют такие структуры семимаринными, то есть полу- или частично погруженными под уровень моря. В пределах этих структур они выделяют «пояс перехода суша-океан с энергичным водообменом», что по смыслу совпадает с выделяемой нами прибрежной зоной. Таким образом, идея выделения прибрежной зоны в виде самостоятельного природного объекта, если не вдаваться в тонкости терминологии, предлагалась разными авторами практически одновременно. Семимаринные артезианские бассейны отчетливо выделяются во многих внешних и внутренних морях, в том числе Черном.

Исключительное разнообразие геологического строения побережий и гидрогеологических условий прибрежной зоны обуславливает наряду с семимаринными бассейнами приуроченность её к субмаринным бассейнам котловин (СМБк), субокеаническим бассейнам осадочного чехла (СОБ), субмаринным бассейнам желобов (СМБж), вулканогенным бассейнам (СМБв) и другим структурам с фундаментом океанического типа. В их пределах, наряду с пресными инфильтрационными водами верхних водоносных горизонтов, современная тектоника обеспечивает появление подземных вод другого генезиса, подземных вод смешанного типа, в том числе термальных.

Результаты изучения субмаринной разгрузки, приведенные в нашей работе относятся главным образом к семимаринным гидрогеологическим структурам. Отдельные примеры разгрузки термальных вод, разгрузка подземных вод глубоких горизонтов по тектоническим нарушениям и через эруптивный аппарат грязевых вулканов выделены в отдельные разделы. Такое разделение связано не только с генезисом разгружающихся вод, но и с геолого-структурными особенностями разгрузки. Насколько удачно такое разделение материала – судить читателю.

Глава 2.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ОТЗЕМНЫХ ВОД

подземных вод непосредственно в морские и океанические впадины –непременная составляющая водного баланса артезианских бассейнов, часть которых расположена под уровнем моря. Эта часть подземного стока долгое время не учитывалась или учитывалась недостаточно полно в воднобалансовых расчетах. Между тем, ее количественная оценка представляет большой научный и практический интерес. Прежде всего, это касается естественных ресурсов пресных подземных вод. Затем, оценки водно-солевого баланса морей, особенно внутренних. Наконец, чисто практический интерес –для расчета каптажных сооружений.

Рассмотрим методы, с помощью которых можно оценить величину субмаринной разгрузки в прибрежной зоне. Условно разделим их на две группы: расчетно-аналитические, с использованием параметров подземного стока, полученных на суше и методы непосредственных измерений в морских акваториях.

Р а с ч е т н о - а н а л и т и ч е с к и е м е т о д ы

Метод среднегогодового водного баланса

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

(2.1)

где –среднегогодовое питание (сток) водоносного горизонта,

–среднегогодовые осадки,

–среднегогодовое испарение,

–среднегогодовой речной сток.

Уравнение 2.1 сколько угодно полно детализируется, как в приходной, так и в расходной частях. Например, к осадкам можно доба-

Глава 2. Теоретические предпосылки... 19

вить величину конденсации, испарение представить как

, где –испарение с водной поверхности,

–испарение со снежного покрова, –испарение с почвы, – транспирация, и т.д. Сложность

определения отдельных составля-

ющих баланса, тем более среднегогодовых величин, заставляет

упрощать уравнение, чаще всего сводя его к виду уравнения 2.1. При

любом способе написания уравнения водного баланса, среднегого-

годовое питание включает в себя алгебраическую сумму погреш-

ностей определения других его членов. Кроме того, остаются неиз-

вестными величины потерь или пополнения подземного стока при

гидравлической связи с другими водоносными горизонтами. В ре-

зультате, при всех прочих достоинствах, метод среднегогодово-

го водного баланса следует считать сугубо приближенным.

Гидрогеодинамический метод

Метод основан на анализе распределения пьезометрических на-

поров в изучаемом водоносном горизонте. Вначале по картам рас-

пределения напоров строятся пьезометрические профили по отдель-

ным линиям тока. Затем они аппроксимируются математическими

зависимостями в виде функции, позволяющей продлить

профили в акваторию моря методом экстраполяции. Аппроксими-

рованные профили дают возможность определить границы, в пре-

делах которых происходит субмаринная разгрузка, и затем оценить

величину разгрузки перетеканием, используя приемы математиче-

ского моделирования.

При строгом подходе аппроксимация не должна превышать 10% кривой функциональной зависимости, что накладывает ограничения на использование метода. Кроме того, существует ряд требований к самой зависимости, в виде реакции на случайные погрешности, сохранения закономерности внутри фактического диапазона измерений величины X и ряд других.

Метод впервые был предложен Р.Г. Джамаловым для оценки подземного стока Терско-Кумского артезианского бассейна [37]. В дальнейшем с помощью этого метода был рассчитан подземный сток в акватории Балтийского и Каспийского морей. Каждый раз для пьезометрических профилей подбиралась своя аппроксимация. Например, для большей части Балтийского моря она представлялась логарифмической кривой вида:

20 Гидрогеология прибрежной зоны

заметных профилей подбиралась своя аппроксимация. Например, для большей части Балтийского моря она представлялась логарифмической кривой вида:

, (2.2)

где a и b –численные коэффициенты.

Достоверность оценки величины подземного стока гидрогеодинамическим методом прямо пропорциональна степени изученности водоносного горизонта на суше: представительности сети наблюдательных скважин, длительности рядов наблюдений за уровнями (пьезометрическими напорами, частотой наблюдений и др.).

Имея достоверные данные по региональным условиям фильтрации подземных вод, горизонтальную и вертикальную составляющие подземного стока при разгрузке перетеканием можно рассчитать по методу Н.А.Огильви [69].

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 боковые границы расчетной водоносной системы. В такой сложной системе важное значение имеет коэффициент перетекания через разделяющие (горизонты) глинистые слои. Численное определение коэффициента практически невозможно, отчего все дальнейшие построения теряют смысл.
2. Методом конечных разностей. Расчетная область фильтрации разбивается на прямоугольные блоки в виде сетки, а исходные параметры задаются в её узлах. Далее, система записывается в

матричном виде с векторами l -мерной размерности и сводится к довольно простому виду алгебраических уравнений, решаемых 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 произвольными треуголь-

Глава 2. Теоретические предпосылки... 21

никами, а расчетные узлы совпадают с их вершинами. Решение задачи реализуется по такому же алгоритму, как и в методе конечных разностей. Применение метода ограничено изученностью прибрежных территорий и достоверностью исходных гидрогеологических параметров.

Среди других методов оценки величины субмаринной разгрузки перетеканием гидродинамический метод можно считать наиболее теоретически обоснованным, основным недостатком которого является громоздкость математического аппарата, в особенности в вариантах расчетов, предложенных Н. А. Огильви.

Метод аналогий

В работе [42] метод аналогий условно назван «Комплексным гидролого-гидрогеологическим». Условно потому, что предполагает использование для расчетов субмаринной разгрузки модули подземного стока, рассчитанные по расчленению гидрографов речного стока. Предполагается, что для сходных гидрогеологических условий в зоне интенсивного водообмена такие допущения могут быть оправданы, хотя и с достаточно большими ограничениями и оговорками [52]. Комплексным же метод назван по той причине, что авторы подразумевают обязательное его сочетание с другими методами, понимая серьезность допущений в использовании прямых аналогий.

Другие расчетно-аналитические методы

Приближенные расчеты величины разгрузки подземных вод в морские впадины можно проводить, используя другие, более ранние предложения. Например, в работах Н.К. Гиринского [30–2] отдельно рассматриваются варианты разгрузки пресных грунтовых, напорных вод и рассолов. Основным недостатком предлагаемых ре-

шений является использование принципа Гибена-Герцберга, предполагающего наличие жесткой границы раздела между подземными и морскими водами, одинаково как для пресных вод, так и для рассолов. Жесткая граница исключает существование зоны дисперсии, чрезмерно схематизируя расчетные построения. Более подробно варианты упомянутых расчетных схем со ссылками на первоисточники изложены в работе [51].

22 *Гидрогеология* _____прибрежной зоны

М е т о д ы о ц е н к и с у б м а р и н н о й р а з г р у з к и в а к в а т о р и я х

Разгрузка перетеканием

Несмотря на то, что рассредоточенная субмаринная разгрузка (разгрузка перетеканием) является наиболее распространенным типом в стоке подземных вод в моря, теоретические обоснования прямых методов ее оценки нам неизвестны. В экспериментальных определениях величины разгрузки с использованием расходомеров различных конструкций, иглозондов, иглофильтров и других измерительных приборов в основу расчетов положено уравнение Дарси. Анализируя результаты экспериментальных работ [42, 64] можно сделать один существенный для теоретических построений вывод: величина разгрузки по мере удаления от уреза резко уменьшается, и основные ее проявления зафиксированы в выделенных нами границах прибрежной зоны. То есть, за пределами прибрежной зоны водообмен подземные –морские воды, как правило, происходит ниже уровня дна и проявляется в виде зоны дисперсии.

Более полно теоретические обоснования разработаны для очагов разгрузки перетеканием, где она проявляется в виде активной фильтрации и по аналогии с инфлюацией может быть названа аутфлюацией. Очаги активной разгрузки перетеканием генерируют в морской среде аномалии придонного типа. Массообмен на границах таких аномалий определяется процессами турбулентной диффузии, механизм которой в морских акваториях хорошо изучен.

Представим уравнение турбулентной диффузии, описывающее изменение концентрации какого-нибудь компонента во времени для вертикальной координаты Z :

, (2.3)

где C –концентрация компонента, K_{gz} –динамический коэффициент турбулентной диффузии.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что чис-

ленные значения величины V_z на порядок меньше K_{gz} , поэтому вторым членом уравнения 2.3 можно пренебречь. Для получения рас-

Глава 2. Теоретические предпосылки... 23

четной формулы воспользуемся решением К. Боудена [12], имеющего вид:

$$(2.4)$$

где Q – единичный расход частиц (см²/с).

Расход подземных вод и размеры придонной аномалии на какой-то момент времени можно принять постоянными. В этом случае, при балансе поступающих в аномальную область подземных вод, расход диффузионного смешения и расход в очаге разгрузки равны ($Q_d = Q_{пв}$ при $t = const$). Для стабилизированной во времени аномалии уравнение 2.4 с принятыми допущениями будет выглядеть как:

$$(2.5)$$

Обозначим и ,

тогда

$$(2.6)$$

Распределение $\alpha(z, t_{const})$ легко определяется в натуральных условиях. При использовании данных, полученных экспериментальным путем, коэффициенты в выражении 2.6 находятся методом наименьших квадратов. При совместном решении уравнений t_{const} исключается и тогда

$$(2.7)$$

24 Гидрогеология прибрежной зоны

Разгрузка в виде субмаринных источников

В разделе гидродинамики, посвященном затопленным струям в жидкости другой плотности, все решения исходят из того, что изначально задается расход и диаметр выпускного отверстия. Для субмаринных источников обе эти величины являются неизвестными. То есть, для определения дебита субмаринного источника должна быть решена обратная задача – по параметрам факела рассчитать начальный расход.

Моделирование процессов субмаринной разгрузки на физиче-

ской модели показало, что факелам присуща сложная внутренняя структура, обуславливающая формирование их внешних стабилизированных форм [107, 51]. Высота подъема факела определяется двумя параметрами – начальным напором и величиной плавучести. Под плавучестью в данном случае понимается разность плотностей разгружающихся и морских вод. В свою очередь, плотность есть функция температуры и минерализации жидкости: .

Плавучесть факела может быть как положительной, так и отрицательной. При больших величинах начального напора и расхода субмаринного источника, находящегося на малой глубине, она не играет существенной роли в формировании формы факела в развитии его от дна грифона до поверхности моря. Зато при малых напорах и дебитах роль плавучести является решающей. На форму факела и его внутреннюю структуру существенное влияние оказывают внешние факторы:

1. Характер перекрытия грифона наносами и их гранулометрический состав.
2. Стратификация толщи морской воды, в которой формируется факел.
3. Течения, искажающие форму факела.

Наличие в грифоне наносов любого состава существенно изменяет в сторону уменьшения величину ядра факела. Одновременно увеличивается подсос морской воды по периферии грифона и далее по периферии факела. В результате факел по всей высоте представляет собой турбулизированный поток с переменной массой в среде другой плотности.

Глава 2. Теоретические предпосылки... 25

Наиболее простыми в определении дебита представляются эмпирические решения, основанные на использовании индикаторов, в том числе радиоактивных [121] и формулы смешения [75], в которых в качестве расчетного компонента использовались концентрации хлор-иона (табл. 2.1). Решения 1– в таблице предназначены для вертикальных осесимметричных факелов, 3 – для любых поверхностных аномалий, 4 – для придонных аномалий и зоны дисперсии, 6, 7 и 8 – для разгрузки в карстовых полостях.

Некоторые теоретические положения для расчета дебитов субмаринных источников могут быть позаимствованы из достаточно хорошо разработанного математического аппарата, применяемого

для расчета ареалов загрязнения при сбросе сточных вод в водоемы. Источники сброса могут быть расположены по проекту на уре-зе (береговой выпуск) и на некоторой глубине (глубоководный вы-пуск). Если выпуски не оборудуются специальными диффузорами для рассеивания струй, то по сути представляют собой аналог суб-маринного источника. Однако и здесь гидрогеологам придется ре-шать обратную задачу, поскольку расход сброса и диаметр выпуск-ного отверстия всегда заданные величины.

В карстовых полостях субмаринная разгрузка образует разно-плотностные потоки, направленные к выходу из полости. Рассмо-трим трехслойную систему, в которой два слоя являются смесью морской и пресной воды, а третий – морская вода. Решение может быть найдено с использованием известного в гидрометрии русло-вых потоков понятия о модели расхода. Пусть мощность распрес-ненных слоев составляет h_1 и h_2 , а морской воды – h_3 . Расположим координатные оси в соответствии с рисунком 2.1. Тогда расход сме-си двух распресненных слоев (Q') для полузатопленной полости можно представить в виде:

, (2.8)

где q_1 – расход смеси потока 1, q_2 – расход смеси потока 2, α – угол между направлением скорости и расчетной плоскостью (створом), $v_{1,2}$ – мгновенная скорость в точке с координатами x, y .

Аналогично запишем выражение расхода для затопленной полости:

26 Гидрогеология прибрежной зоны

М е т о д ы к о л и ч е с т в е н н о й о ц е н к и с у б м а р и н н о й Метод Исходное уравнение

1. Индикатор-
ный [121] – 2. По уравнению
движения [106]

В упрощенном виде

3. По уравнению
теплового балан-
са [115]

4. Геотермиче-
ский [59]

5. По уравнению
турбулентности
[116]

6. По формуле смешения [75] – 7. По уравнению расхода [109]
8. По уравнению расхода и закону сохранения массы [50]

Глава 2. Теоретические предпосылки... 27

Таблица 2.1

р аз гр уз кип од зе мн ыхв од Расчетная формула
Решение на модели БУСЭ-70 с граничными условиями

28 Гидрогеология прибрежной зоны

. (2.9)

Решение интегральных уравнений такого вида известно [40].

Расход смеси в каждом слое определится следующим образом:

, (2.10)

где $\omega_1 = h_1 B$, $\omega_2 = h_2 B$ – площадь сечения слоя, B – ширина полости, $v_{1,2}$ – средняя скорость в площади сечения каждого слоя, m – числовой коэффициент.

Рис.2.1. Схема расположения координатных осей при оценке величины субмаринной разгрузки в карстовых полостях

А – вариант полузатопленной полости (Ось x располагается по поверхности воды); Б – вариант затопленной полости (Ось x располагается по границе морской воды и слоя смешения).

Глава 2. Теоретические предпосылки... 29

При нахождении числового коэффициента m допускается, что тепло и количество движения переносятся одними и теми же вихрями [11], а пульсации скорости в потоке пропорциональны пульсациям температуры, то есть .

Величина коэффициента m находится эмпирически при проведении соответствующих натуральных наблюдений.

Расход пресной воды (Q) как для полузатопленных, так и для затопленных полостей находится по формулам:

(2.11)

и

, (2.12)

где $W_{п1,2}$ – доля пресной воды в каждом слое, C_1 – концентрация

одного из компонентов химического состава в смеси пресных и морских вод, C_n и C_m – концентрации того же элемента соответственно в пресной и морской воде.

Альтернативные определения величины субмаринной разгрузки в карстовых полостях могут быть выполнены с помощью аналогового моделирования и численных решений уравнения турбулентной диффузии [116]. Методические приемы для оценки эмпирических параметров приводятся в работах [75, 109].

В заключение необходимо отметить следующее. Природные условия субмаринной разгрузки настолько разнообразны, что нахождение некоего универсального математического решения, пригодного для всех вариантов, не представляется возможным. В каждом конкретном случае необходимо либо модифицировать известные решения, либо искать новые. При этом в ходе обоснования любого теоретического решения обязательно должны быть учтены условия реального определения расчетных параметров в натуральных условиях. В первую очередь это касается методики морских гидрогеологических исследований, которой посвящена следующая глава.

Г л а в а 3.

О М Е Т О Д И К Е М О Р С К И Х Г И Д Р О Г Е О Л О Г И Ч Е С К И Х И С С Л Е Д О В А Н И Й

Эффективность и достоверность результатов любых научных исследований во многом зависит от правильного выбора методики. Не случайно, что этому вопросу в гидрогеологии уделялось много внимания. Во второй половине 20 века появились многочисленные методические рекомендации, пособия, инструкции и наставления, регламентирующие все виды поисковых, съемочных и специальных работ. Они постоянно совершенствовались и уточнялись. Часто дополнения и уточнения вносились одновременно с появлением новых технических возможностей: аэрокосмических методов исследований, лабораторной техники (атомно-абсорбционной, нейтронной активации, рентген-флюоресцентной), полевых приборов и оборудования. В результате для условий суши была создана надежная методическая база, отвечающая современному состоянию науки о подземных водах.

На начальном этапе развития морская гидрогеология опиралась на методы исследований, апробированные на суше. Для субэвальной части прибрежной зоны такое заимствование было впол-

не оправданным. Изучение субмаринной части и работы в акваториях потребовали разработки новых методических подходов. Первые методические рекомендации по гидрогеологическому изучению морей появились в середине восьмидесятых годов [65, 109]. Появление рекомендаций было вызвано необходимостью развития научно-исследовательских, а также комплексных геолого-гидрогеологических работ в прибрежной зоне и на шельфе. Комплексование объяснялось тем, что эти объекты были недостаточно или вообще не изучены в геологическом отношении. В состав комплексных работ дополнительно были включены океанологические (гидрологические) исследования. В общем виде комплекс представлялся следующим образом.

Геологические исследования предусматривают геологическую съемку соответствующего масштаба с проведением маршрутных наблюдений, а также все остальные виды геолого-съёмочных работ.

Глава _____ 3. О методике ... исследований 31

Гидрогеологические исследования также включают в себя маршрутные наблюдения, картирование очагов разгрузки подземных вод на морском дне, оценку фильтрационных свойств донных отложений, геоморфологические и литодинамические наблюдения.

Океанологические исследования направлены на изучение режима температуры и солености морской воды, вдольбереговых течений, волнения, химических и физических свойств прибрежных вод (электропроводности, плотности, оптических характеристик).

Не останавливаясь более подробно на методике проведения отдельных видов исследований, поскольку они опубликованы в упомянутых выше методических рекомендациях, в отдельных обзорах [26, 42, 51], обратим внимание лишь на специфику проведения морских работ.

1. При геологической съемке одной из главных задач является установление границ пород различного возраста и литологического состава. В обнажениях пород на суше контакты легко устанавливаются визуально. Если они перекрыты современными отложениями –проходятся шурфы, канавы, закопушки, наконец, они устанавливаются бурением скважин. На морском дне обнажения коренных пород встречаются крайне редко. Верхняя часть современных морских отложений (так называемый деятельный слой) постоянно испытывает переформирование под действием гидродинамиче-

ских факторов. В изменении границ различных типов грунтов наблюдается определенная закономерность, проявляющаяся в циклах шторм –штиль. Изменение литологических ситуаций сопровождается изменением батиметрических отметок, образованием тех или иных мезо- и макроформ донного рельефа. Поэтому, картирование, как коренных, так и современных донных отложений представляет собой сложную задачу.

Опробование с исследовательских судов (драги, дночерпатели, грунтовые трубки различных конструкций, пробоотборники и бурение), как правило, не позволяют установить точное положение геологических границ. На практике они определяются прямой интерполяцией между точками опробования. Чем реже сеть опробования, тем больше ошибка в нанесении границы на карту. В отдельных случаях положение границ можно уточнить с помощью геофизических методов, например, при непрерывном сейсмоакустическом

32 Гидрогеология прибрежной зоны

профилировании. Однако, самая верхняя часть разреза все равно остается не расчлененной. Между тем она является тем фильтром, через который осуществляется взаимосвязь подземных и морских вод, а параметры этой взаимосвязи определяются фильтрационными свойствами отложений.

Наиболее точно положение границ и представительность пробоотбора осуществляется при подводном профилировании, где специалист геолог (гидрогеолог) отмечает их точно также как и при проведении надводных (сухопутных) маршрутов. Повторные съемки позволяют установить изменение границ в цикле шторм –штиль.

2. Подводные маршрутные исследования в прибрежной зоне позволяют картировать водопроявления –очаги разгрузки подземных вод. Разгрузка легко определяется визуально по изменению оптических свойств морской воды, напоминающих марево и ощутимым понижением температуры. В очагах интенсивной разгрузки наблюдается взвешивание песчаных частиц над уровнем дна. Реже процесс разгрузки сопровождается спонтанным выделением газа, пузырьки которого хорошо видны в толще морской воды. Таким образом, подводные маршрутные наблюдения позволяют достоверно картировать даже мелкие субмаринные источники и получать первичную информацию о характере разгрузки, размерах и конфигурации грифонов, степени заполнения грифонов наносами и др. Опи-

сание сопровождается отбором проб воды и грунта, замерами температуры разгружающихся вод, установкой ловушек для сбора выделяющихся газов и другими необходимыми операциями.

3. Картирование разгрузки перетеканием может осуществляться как в непрерывном режиме с помощью «пашущего» зонда (что наиболее рационально), так и по отдельным точкам по намеченной сетке. Если зона дисперсии расположена непосредственно у поверхности дна, очаги разгрузки оконтуриваются опробованием поровых вод донных отложений. Опробование может выполняться несколькими способами. Самый распространенный – отбор образцов грунта с последующим отделением поровых растворов отжимом или центрифугированием. Более сложным является откачка с помощью специальной установки (рис 3.1.). При интенсивной разгрузке установкой расходомеров, оборудованных емкостями для сбора разгружающихся вод. Если зона дисперсии располагается на значительной

Глава 3. О методике ... исследований 33

Рис 3.1. 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.

34 Гидрогеология прибрежной зоны

глубине от поверхности дна, определить ее положение и параметры разгрузки можно только с помощью буровых скважин.

В любом случае исследование зоны дисперсии с применением формул смешения имеет свои ограничения. Согласно работе [65], при учете величины коэффициента фильтрации солей в грунте, скорость вертикальной фильтрации должна находиться в пределах:

$$10^{-3} \text{ м/сут} < v < 2 \times 10^3 \text{ м/сут.}$$

При больших или меньших скоростях фильтрации в верхнем слое осадков, очевидно, происходит выравнивание значений солености (минерализации) и для получения достоверных результатов потребуется значительное увеличение интервалов опробования.

Представление о темпах водообмена пресных подземных вод и морских вод в породах, характеризующихся скоростями фильтрации ниже 10^{-5} м/сут можно получить исходя из положений об осмотической фильтрации. В общем виде они рассмотрены в работе А.Н.Павлова [71], а пример расчета для конкретного объекта приведен в методических рекомендациях [109].

4. Не менее сложной задачей в методике картирования субмаринных площадей является оценка дебитов субмаринных источников. На суше определение дебита источника не представляет особых трудностей. Малые дебиты определяются объемным способом, большие – с помощью гидротехнических сооружений (водосливов различных конструкций, гидрометрических лотков и др.), а в случаях воклюзов – расход измеряется гидрометрической вертушкой. Для субмаринных источников все эти способы неприемлимы. Все известные методы оценки дебита субмаринного источника (кроме каптажа) основаны на изучении грифона и факела. Однако проведение измерений осложняется тем, что факел источника деформируется вдольбереговым течением. Положение датчиков относительно вертикальной оси факела может контролироваться только визуально. При плохой видимости под водой для визуализации факела используются красители (флюоресцеин, нигрозин, уранин и др.), помещаемые в грифон источника, причем подача их тем или иным способом должна дозироваться. Заметим, что подводные наблюдения с использованием аквалангов, безусловно, дороги и трудоемки, зато достоверность результатов возрастает на порядок.

Глава 3. О методике ... исследований 35

Многолетний опыт изучения субмаринных источников позволил разработать надежные и простые приемы измерений. Например, вертикальная ось факела обозначается маркированным тросом, один конец которого заякоревается в центре грифона, а другой крепится к буйку в центре поверхностной аномалии. Положение фала с закрепленными на нем датчиками контролируется водолазом. Пробы воды отбираются водолазом с помощью специального пробоотборника у соответствующих марок. Определение скорости по центральной оси и на периферии факела осуществляется с помощью подводной кино съемки. Импульсный запуск красителей фиксируется на фоне масштабной сетки при заданной скорости протяжки киноленты. При необходимости время прохождения красителя отмечается по секундомеру, помещенному в водонепроницаемый бокс. В настоящее время операция съемки значительно упрощается с использованием цифровых видеокамер, помещенных в бокс.

Конструирование и изготовление приборов – отдельная и достаточно сложная задача. Большинство используемых нами приборов были оригинальными, приспособленными для работы в факелах субма-

ринных источников. Стандартные океанологические приборы оказались непригодными по следующим причинам.

1. Батометры отечественных конструкций БМ-48 и других марок срабатывают в одном метре от дна, что делает невозможным отбор пробы из грифона. Попастъ батометром в центральную ось факела, изогнутую вдольбереговым течением, а тем более, на заданное расстояние от центра грифона –практически невозможно. Аналогичные причины не позволяют использовать батометры зарубежных марок, например, “Sea berd”, “River berd” и другие. Батометры с габаритами свыше одного метра длиной являются непригодными для работы с факелами источников среднего и, тем более, малого дебита.

2. Гидрометрические вертушки типа БПВ-2 приспособлены для буйковых постановок и измерения горизонтальной составляющей течения. Тоже самое и механическая морская вертушка, опускаемая с рыбовидным грузом. Кроме того, эти приборы не приспособлены по конструктивным особенностям к измерениям скоростей в сильно турбулизованных потоках.

36 Гидрогеология прибрежной зоны

3. По этим же причинам невозможно использование термобатометров, опрокидывающихся термометров и других приборов.

4. Маломерные суда, используемые для проведения исследований на мелководьях прибрежной зоны, не оборудуются гидрометрическими лебёдками, которые обеспечивали бы подъем и спуск упомянутых выше приборов. В связи с этим использование нестандартных приборов –единственная возможность получения достоверных результатов.

Аналогичные причины не позволяют использовать стандартные океанологические приборы для изучения придонных аномалий, возникающих при разгрузке перетеканием. Толщина аномального слоя при такой разгрузке часто измеряется сантиметрами. В качестве примера приведем результаты детальных подводных работ в западном Крыму, в одной из бухт на полуострове Тарханкут. С помощью градиентного батометра и установки для отбора поровых вод удалось выяснить, что в очаге разгрузки толщина аномалии не превышает 35 см (рис.3.2. –3.4.). При использовании стандартного оборудования эта аномалия осталась бы не обнаруженной. К сожалению, для большинства типов субмаринной разгрузки для целей наблюдения

не приспособлены и прекрасные автоматические станции, измеряющие в автоматическом режиме 5– и более параметров морской среды: АЦИТ, ШИК –02, МГИ 9201М, ГАЛС и др.

При измерении дебита субмаринных источников важным является не только измерение по оси факела, но и по его периферийной части – области смешения подземных и морских вод при вовлечении в факел морской воды. Эта область характеризуется высокочастотными пульсациями всех параметров, наиболее просто из которых измеряется температура. Для оценки величины и частоты пульсаций в качестве датчиков используются терморезисторы марки КМТ-14 или аналогичного типа с чувствительностью не хуже 0,01 –0,05 градуса. Регистрация сигналов осуществляется самопишущими приборами типа модернизированного КС 1-02 со скоростью протяжки ленты не менее 2 см/с или шлейфовым осциллографом.

Отдельной критики заслуживают методы определения дебита с помощью радиоактивных изотопов. Не имея ничего против индикаторных методов, авторы возражают лишь против применения радиоактивных веществ, загрязняющих окружающую среду.

Глава 3. О методике ... исследований 37

Рис 3.2. Схема ловушек для сбора спонтанно выделяющегося газа.

1 –утяжеленное кольцо диаметром 0,5 м; 2 –вентиль; 3 –лепестковый клапан; 4 –разъем; 5 –емкость для отбора газа; 6 –градуировка емкости.

Рис 3.3. Оборудование для отбора проб в придонном слое.

а) ручной батометр: 1 –лепестковый клапан, 2–емкость, 3 –зажим;

б) градиентный батометр: 1–заборное устройство и номер емкости, 2 –плита крепления заборных устройств, 3 –накидные гайки, 4 –емкости, 5 –крепления батометра.

38 Гидрогеология прибрежной зоны

5. При проведении геологосъемочных работ обязательными являются полевые маршрутные исследования. На суше направление маршрутов выбирается, как правило, вкрест простирания пород, а объемы определяются масштабом съемки, а также степенью изученности территории. Подводные же маршруты целесообразно намечать по нормали к берегу, так как с увеличением глубины моря происходит закономерное изменение гранулометрического состава

Рис 3.4. Измерение величины рН в области смешения подземных и морских вод (б. Сторожевая).

I. Фон (морская вода); II. Область смешения; III. Область наибольших градиентов; IV. Поровые воды (область дисперсии).

Глава 3. О методике ... исследований 39

донных отложений. Частота намечаемых маршрутов должна быть, как минимум, в два раза больше, чем на суше из-за ограниченной видимости под водой. Ориентирование в маршруте легче всего осуществлять по заранее проложенному по дну маркированному тросу, окончание которого в море обозначается буйком. В противном случае аквалангист быстро теряет ориентировку из-за ограниченной видимости и сноса вдольбереговым течением. При прохождении маршрута обязательно используется страховочный фал, одновременно служащий переговорным устройством с сопровождающим маломерным судном. По сигналу аквалангиста на борт судна поднимаются отобранные образцы, одновременно по GPS (*Global Positioning System*) определяются координаты точки опробования. По окончании маршрута аквалангист поднимается на борт судна и переносит записи с наручной пластинки для письма в обычный пикетажный журнал, или же диктует их коллектору, записывает на диктофон и т. д. В это время судно доставляет его к началу следующего маршрута.

Для читателя незнакомого со спецификой подводных работ приведенные выше подробности могут показаться излишними. Однако, для большинства геологов, ранее не работавших в море, стоит напомнить – море «не прощает» ошибок. Не следует забывать, что маршрутные исследования могут проводиться только в штилевую погоду. Длительность же штилей в полевой сезон не предсказуема. Поэтому организационные вопросы играют большую роль в методике проведения подводных работ. Добавим, что в успешном проведении работ немалое значение имеют профессиональная подготовка и опыт водолазов-совместителей, а также слаженная работа обеспечивающей прохождение маршрута команды.

Все методические приемы исследования субмаринной разгрузки можно разделить на две группы: поисковые (региональные) и детальные. К первой группе относятся все методы позволяющие обнаруживать очаги разгрузки, но не дающие возможность оценить ее величину. Обычно они применяются на первом этапе исследований и предшествуют детальным работам. В свою очередь поисковые методы делятся на дистанционные методы исследований и методы, основанные на непосредственных измерениях. Дистанционные методы представляют собой многоспектральные и тепловые

40 Гидрогеология прибрежной зоны

съемки поверхности моря с самолетов или космических аппаратов. Использование различных светофильтров позволяет обнаруживать крупные субмаринные источники по изменению прозрачности воды, мутьевым облакам и другим поисковым признакам. При тепловой съемке в инфракрасном диапазоне фиксируется интенсивность теплового излучения с поверхности моря. Современные приборы (тепловизоры) позволяют измерять температуру морской воды, в том числе со спутников, до десятых долей градуса. На аэрокосмоснимках, сделанных в тепловом диапазоне, субмаринная разгрузка выявляется по контрасту температур и характеру контура поверхностных аномалий. При этом обнаруживаются только те субмаринные источники, факелы которых достигли поверхности моря. Дистанционные методы использовались для изучения субмаринной разгрузки Геологической службой США в прибрежной зоне Гавайских островов, о. Ямайка, полуострова Флорида, а также Аппенинского полуострова и о. Сицилия.

Методы непосредственных измерений заключаются в непрерывной регистрации параметров температуры, солености (электропроводности) воды датчиками, буксируемыми за судном. Используются два способа буксировки – по поверхности моря и по дну. Буксируемые по поверхности датчики крепятся на кабеле, глубина погружения которого зависит от скорости движения судна. Первый опыт непрерывного измерения температуры и солености (электропроводности) был получен в Триестском заливе Адриатического моря [117]. С помощью этого метода оказалось возможным обнаружение не только карстовых субмаринных источников, но и разгрузки диффузионного типа в области развития аллювиальных отложений. Подобные работы проводились также в бухте Каштело, у г. Сплит, у берегов Сицилии и Ливана.

Для буксировки датчиков по дну используется так называемый «пашущий зонд». Оригинальную конструкцию пашущего зонда, снабженного датчиками температуры, электропроводности и давления, предложили ученые Института водных проблем РАН [42]. Буксировка зонда сопровождалась непрерывным сейсмоакустическим профилированием, дающим возможность одновременно изучать геологическое строение верхней части разреза. По существу был создан измерительный комплекс, с помощью которого были успешно

Глава 3. О методике ... исследований 41

проведены исследования в Черном море (Гудаутская банка в Абхазии, побережье Болгарии) и ряде крупных озер. Наряду с очевидными достоинствами метод имеет ряд недостатков:

1. Высокая скорость буксировки зонда, до 10 км/час, создает вокруг него турбулентный след. В результате датчики, размещенные на задней крышке зонда, фиксируют не среднюю соленость придонного слоя, а соленость нижней части турбулентного следа.
2. Соленость морской воды изменяется с глубиной, чаще всего уменьшается с уменьшением глубины. Особенно заметно это происходит на свалах глубин и у термоклина. Следовательно, датчики могут отмечать изменение солености не за счет разгрузки подземных вод, а за счет стратификации толщи морской воды.
3. Использование измерительного комплекса невозможно в береговых гротах и пещерах из-за больших размеров судна буксировщика. Также невозможно применение зонда в полосах глыбовых навалов, остатках селевых выносов горных рек Крыма и Кавказа. То есть, метод имеет ограничения по ряду природных условий.
4. Вероятность попадания зонда непосредственно в грифон субмаринного источника крайне мала. Следовательно, метод должен сопровождаться другими наблюдениями, например, маршрутными исследованиями.

Читатель, вероятно, уже обратил внимание на то, что все методы, упоминаемые в настоящей главе, подвергаются критике. Действительно, указанные методы не являются универсальными, в ряде случаев слабо апробированы, применяемые приборы имеют конструктивные недостатки. Общим же упущением всех исследователей является то, что разные методы не сопоставлялись путем последовательного измерения параметров одного и того же природного объекта. Это упущение распространяется не только на отечественных, но и на зарубежных ученых. Во всяком случае, нам неизвестны работы такого рода. Поэтому, методика морских гидрогеологических работ еще далека от совершенства, что в целом свойственно и другим молодым наукам.

Глава 4.

ПРЕСНЫЕ СУБМАРИННЫЕ ИСТОЧНИКИ

ОБОРОТ По генетическому признаку пресные субмаринные источники

можно разделить на три группы:

1. Источники, вызванные разгрузкой подрусловых потоков в конусах выноса рек, дельтах и авандельтах (разгрузка аллювиальных вод);
2. Субмаринные источники в зоне разгрузки трещинно-жильных вод кристаллических массивов;
3. Субмаринные источники карстового происхождения.

В конусах выноса горных рек Кавказского побережья преобладают малобитные источники, расположенные на небольших глубинах. Грифоны выражены на песчаном дне небольшими углублениями, дно которых заполнено хорошо отсортированным крупнозернистым материалом. Часть песчинок взвешивается восходящими струями пресной воды на высоту нескольких сантиметров (р. Псоу). На гравийно-галечном дне песчинки взвешиваются между крупными гальками (р. Жове-Квара). Иногда разгрузка из галечного материала наблюдается на площади в десятки квадратных метров и сопровождается многочисленными пузырьками воздуха (р. Бзыбь). Малые дебиты источников объясняются ярко выраженной неоднородностью проницаемости отложений слагающих конуса выноса, в мелкой слоистости которых хорошо проницаемые прослойки чередуются с практически непроницаемыми. Крупные субмаринные источники известны в Средиземноморье вблизи устья реки Луары. У города Нант часть из них каптирована (доклад Ф. Оттмана на международном симпозиуме «Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира», Тбилиси, 1–10.1988 г.). В целом, как для небольших, так и для крупных рек в конусах выноса более характерна разгрузка перетеканием.

Разгрузка трещинно-жильных вод, приуроченных к массивам магматических и вулканогенных пород, практически не изучена. В Черном море нам известен лишь один источник у мыса Аю-Даг

Глава 4. Пресные субмаринные источники 43

(Крым). Между тем, источники этой группы широко развиты вблизи вулканических островов Тихого океана, о чем писал еще в начале прошлого века Джек Лондон (рассказ «Дьяволы на Фуатино»). Попытка их исследования на Гавайском архипелаге предпринималась американскими учеными с помощью инфракрасной аэрофотосъемки (доклад профессора Гавайского университета Уильяма Д. Адамса на совещании ЮНЕСКО в Ленинграде, 1972 г.). Посколь-

ку результаты этих исследований не опубликованы, ссылка на них не приводится.

Пресные субмаринные источники карстового происхождения – наиболее многочисленная и часто упоминаемая в литературе груп-

па. География их охватывает многие побережья Мирового Океана.

Крупные карстовые субмаринные источники средиземноморья известны еще с античных времен [60,61]. В работе Б.К. Швердфегер [141] приведен каталог 96 источников. Каталог можно дополнить, включив в него известные субмаринные источники Крыма и Кавказа.

С учетом наших дополнений картографическая схема Б.К. Швердфегер выглядит следующим образом (рис.4.1).

Абсолютное большинство грифонов карстовых субмаринных источников расположено на глубинах моря до 10 м и не более чем в 200 м от уреза, т.е. в пределах прибрежной зоны. Такие источники, как Новый Афон (Абхазия), Кресенд-Бич (Флорида), Рио Буэно Бэй (Ямайка) и Чекка (группа источников в Ливане) –исключение. Расстояние их выходов от уреза составляет соответственно 1200, 4022, 1610 и 50–500 метров. Вне прибрежной зоны расположены и глубоководные субмаринные источники. Их известно всего семь (табл. 4.1).

Промежуточное положение занимают несколько источников в Черном море, расположенных на глубинах 10–0 м в районе Гудатской банки и в Гагринском заливе.

Непременным условием функционирования субмаринных источников является превышение пьезометрических уровней подземных вод в области разгрузки над гидростатическим напором морских вод. Такие условия характерны для приморских горных сооружений и крупных карстовых массивов: Арабика (Кавказ), плато Крас (Югославия), Ай-Петри (Крым) и др., высота которых 1– тыс. метров выше уровня моря. В ряде приморских регионов встречаются

44 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис.4.1. Расположение наиболее крупных субмаринных источников в Средиземном и Черном морях (по Б.К.Швердтфегер [141] и с добавлениями автора).

1. Карбонатные породы; 2. Источники с дебитом < 1 м³/с; 3. Источники с дебитом > 1 м³/с; 4. Не изученные участки побережья.

Таблица 4.1

Г л у б о к о в о д н ы е п р е с н ы е с у б м а р и н н ы е и с т о ч н и к и (по Б.К. Швердфегер [141])

Название Местоположение Глубина моря (м)

1. Блу Хоулз Багамские острова 70
2. Анавалос Греция 75
3. Чекка Ливан 50–00
4. Рио Буэно Бэй Ямайка 265
5. Канны Франция 165
6. Сан Ремо Италия 190
7. Залив Св. Мартина Италия 700

Глава 4. Пресные субмаринные источники 45

структуры со сравнительно невысоко поднятыми над уровнем моря областями питания, на подводном склоне которых функционируют субмаринные источники. К последним можно отнести полуостров Флорида, так как гипсометрические отметки его не превышают 100 м. Благоприятные условия для субмаринной разгрузки обеспечиваются широким развитием прокарстованных известняков палеоген-неогенового возраста, слагающих большую часть полуострова, значительным количеством осадков (1200–400 мм/год) и равнинным рельефом, практически исключая склоновый сток.

Сходные природные условия имеет полуостров Юкатан. Поверхность его представляет собой низменную равнину. Только на востоке полуострова небольшой участок занимают горы Майя. Площадь развития карстующихся известняков составляет порядка 100 тыс. квадратных километров. Отметки пьезометрического уровня подземных вод на побережье в большинстве случаев лишь на 1 м выше уровня моря.

При изучении субмаринной разгрузки карстовых вод необходимо обратить внимание на возможную глубину карстогенеза. Для отдельных участков побережий здесь важную роль играет интенсивность вертикальных колебательных движений земной коры. Известно, что в некоторых областях Земного шара зафиксированы поднятия и опускания со скоростью до 40 мм/год. Интерпретация материалов по колебательным движениям сильно осложняется эвстатическим фактором. По данным Л.Стратена [51] уровень Адриатического моря во время последней ледниковой эпохи был ниже современного на 110–20 м. Изменение базиса эрозии и соотношения напоров между областями питания и разгрузки подземных вод несомненно влияют на развитие карста, в большинстве случаев определяя нижнюю границу функционирования субмаринных источников.

В конце позднего плейстоцена (18–7 тыс. лет назад), перед началом последней крупной трансгрессии, уровень Черного моря, по оценкам различных авторов, был на 90–10 м ниже современного. Трансгрессия сопровождалась постоянными, сравнительно небольшими колебаниями уровня. Археологические раскопки на мысе Херсонес (Крым) показали, что некоторые части его периодически затоплялись, а потом осушались. Продолжительность одного цикла составляла 5– веков [10]. Затоплен ряд античных городов Керчен-

46 Гидрогеология прибрежной зоны

ского полуострова, г. Диоскурия (Сухумская бухта) и др. Источники, питавшие пресной водой древнегреческую колонию Ольвия, в настоящее время вместе с частью городища находятся под водой и продолжают функционировать уже как субмаринные. Таким образом, не вызывает сомнений, что карстовые субмаринные источники прибрежной зоны Черного и Средиземного морей сформировались в субэкральных условиях. Об этом же свидетельствуют их геолого-геоморфологические особенности: форма грифонов, строение пещер-источников, натечные кальцитовые образования и др.

Накопление информации позволило типизировать условия разгрузки карстовых вод в прибрежной зоне Черного моря. Поскольку они имеют достаточную степень обобщения, то вполне применимы и для других побережий Мирового океана. Типизация разгрузки по геолого-гидрогеологическим признакам предложена В.Н.Дублянским [38] с выделением восьми типов условий разгрузки (рис. 4.2).

Нами предложена типизация по условиям выходов карстовых вод на дне и положению грифонов, которые в свою очередь определяют структуру аномалий и формы факелов в морской среде [110].

Всего было выделено шесть типов условий разгрузки (Рис.4.3.):

А. Разгрузка карстовых вод частично экранируется маломощными слоями современных донных отложений (а). Более мощные струи образуют в них грифоны круглой и овальной формы, заполненные на дне хорошо отмытым крупнозернистым материалом (б) – группа источников «С» в Гантиади.

В. Разгрузка происходит из отдельных открытых трещин и грифонов, выработанных в коренных породах обнажающихся на дне – Гантиади, группа источников «Б» в Гаграх, источник 2.

С. Разгрузка осуществляется из наклоненных в сторону моря пещер и крупных трещин. Восходящий поток пресной воды на-

правлен вдоль вертикальной стенки клифа –полость 3 на мысе Айя (Мегало-Яло), Крым.

D. Разгрузка происходит горизонтальным потоком в полузатопленных полостях. Поток формирует разгрузка из отдельных трещин на боковых стенках полости и тупиковой части –полость 1, мыс Айя (Мегало-Яло); ряд полостей южного побережья полуострова Тарханкут, Крым.

Глава 4. Пресные субмаринные источники 47

Рис. 4.2. Типы разгрузки карстовых вод в прибрежной части Черного моря (по Дублянскому В.Н., Кикнадзе Т.З. [38]), где 1 –наземная; 2– –подводные (2 –безнапорная, 3 –напорная, 4 –напорная, через покровный водоупор, 5 –напорная, по тектоническим нарушениям, 6 –безнапорная, через аллювий переуглубленных долин, 7 –то же, с подтоком по тектоническим нарушениям, 8 –безнапорная отторженцев, олистолитов 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.

48 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис. 4.3. Условия разгрузки карстовых подземных вод на Черноморском побережье Крыма и Кавказа в области погружения карстующихся пород под уровень моря.

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.

Глава 4. Пресные субмаринные источники 49

E. Разгрузка осуществляется восходящим потоком в крупных затопленных и полузатопленных карстовых полостях –полости 3,10, м. Айя (Мегало-Яло), Тарханкутский полуостров, Крым.

F. Разгрузка в зоне выклинивания карстующихся пород в прибрежной зоне частично экранированная современными донными отложениями –полуостров Казантип, Крым, Гагринский залив, возможно Гудаутская банка, Абхазия.

Приведенная типизация охватывает все известные нам случаи субмаринной разгрузки карстовых вод Черноморского и, частично, Азовского побережий. Непосредственные наблюдения очагов разгрузки позволяют сделать некоторые замечания, касающиеся условий их функционирования.

Для большинства карстовых источников существует жесткая связь режима с климатическими факторами (главным образом – осадками). Резкие перепады пьезометрических напоров, свойственные потокам в карстовых каналах, приводят к образованию интермиттирующих или перемежающихся источников. Под уровнем моря эти источники периодически действуют как поноры всасывающие морскую воду. Засасывание бывает столь сильным, что сопровождается поднятием морской воды выше уровня моря. На береговых склонах, сложенных карстующимися породами, появляются соленые источники с гипсометрическими отметками выше пресных. При равновесии напоров субмаринные источники прекращают свою деятельность, грифоны заполняются морскими наносами, а при незначительном увеличении давления они начинают работать в фильтрационном режиме. Частично заполненные грифоны в этот период сохраняют свои морфологические черты и легко различимы в рельефе дна. Последнее принципиально важно при подводных работах проводимых в период межени. Еще легче недействующие в момент обследования грифоны выявляются в обнажениях карстующихся пород на дне. Они выглядят как карстовые воронки или цилиндрические углубления диаметром до 1,5 м и глубиной до одного метра на дне которых лежат крупные камни и плиты (Далматинское побережье Югославии) [47]. На Кавказском побережье это чаще всего открытые трещины и отверстия с разбросанными вокруг кусками древесины, ветками и листьями наземных растений (Гантиади, группа источников «С»).

50 Гидрогеология прибрежной зоны

грифонов можно рассматривать как показатель активности субмаринной разгрузки отдельных участков прибрежной зоны.

Обобщение и анализ материалов наблюдений позволили охарактеризовать региональные черты субмаринной разгрузки на Черноморском побережье Крыма и Кавказа (табл.4.2).

Обзор пресных субмаринных источников представляет интерес по двум причинам: во-первых, пресные субмаринные источники являются достаточно широко распространенным явлением; во-вторых, эти источники могут быть использованы для получения пресной воды на побережьях с ограниченными водными ресурсами. Следующая глава, по существу, является продолжением настоящей, в которой мы рассмотрим более подробно субмаринную раз-

грузку пресных подземных вод на побережье Черного моря.

Глава 4. Пресные субмаринные источники 51

Таблица 4.2

Субмаринный азгроз как арстовых одвприбрежно-зонный участок прибрежной зоны

Типы разгрузки

По В.Н. Ду-Примечание

блянскому

По Ю.Г.

Юров-

скому

1 2 3 4

пгт. Черноморское – м. Тарханкут –1а,

6

Рассредоточенная разгрузка в устьевых частях балочных систем, бухтах. Водоносный горизонт –карстующиеся известняки сармата [58].

м. Тарханкут – п. Окуневка –1а,

4, 5

Рассредоточенная разгрузка в бухтах. Сезонная разгрузка в пещерах и гротах. Водоносный горизонт – карстующиеся известняки сармата [113].

Севастополь –Бала-

клава 1 –6 1а,

16

В районе Севастополя предположительно рассредоточенная разгрузка из карстующихся известняков сармата [38]. Интермиттирующий источник в 250– 300 м у входа в Балаклавскую бухту по данным поста

наблюдений гидрографической службы КЧФ.

ур. Мегало-Яло – м. Айя 1, 2 3, 4, 5

Разгрузка из открытых трещин берегового клифа, в гротах и пещерах. Водоносный горизонт –карстующиеся известняки верхней юры [38].

м. Айя –м. Форос 1, 2 – Береговые источники на контакте верхнеюрских известняков и флиша. Сезонная разгрузка транзитом через склоновый деллювий и оползневые отложения [9, 38].

1 2 3 4

м. Форос – б. Французенка

1, 6, 8 2 а, б Основная разгрузка на контакте верхнеюрских известняков и водоупорных пород таврической серии. Разгрузка транзитом через склоновый деллювий и оползневые тела. Отдельные субмаринные выходы в районе Ялты связаны с гравитационно-тектоническими (олистолиты) и гравитационными отторженцами: Кошка, Ай-Тодор, Одолары [38]. Локальные выходы в бухтах, устьях рек (Дерекойка) [75]. Единичные выходы рифовых образований в районе Судака: Караул-Оба, Сокол, Алчак, Меганом. По данным клуба подводного плавания в районе Новый Свет. Возможна разгрузка через эллипсий переуглубленных долин рек Хастабаш, Учан-Су, Авунды, Улу-Узань, Сотеры и др. [116].

Геленжик–р.

Псоу

1, 2,

5, 6

1 а Береговые отложения сложены верхнемеловым и палеогеновым флишем, включающим в себя карбонатные отложения. Разгрузка возможна по тектоническим нарушениям и через аллювий переуглубленных долин в виде малодобитных источников: р. Псоу, Мацеста, Хоста, Псезуапсе, Шахе, Аше и др. [51, 104, 113].

Псоу –Ганти-

ади

1, 2, 6 1 а, б,

2 а, б, в

Сосредоточенная субмаринная разгрузка в виде отдельных малодобитных источников (устье р. Холодной) и в виде 3-х групп высокодебитных источников южнее п. Гантиади. В береговых обнажениях и обнажениях подводного склона представлены, главным образом, закарстованные трещиноватые, местами окремненные известняки среднего мела. Разгрузка подземных вод отмечалась многими исследователями [28,51,61] и изучалась детальными методами [51, 88, 104].

Глава 4. Пресные субмаринные источники 53

Продолжение таблицы 4.2

1 2 3 4

Гантиади –Гагра 1, 2, 5, 6 1 б,

2 а, б, в,

6

В прибрежной зоне и на шельфе до глубины 400 м зафиксированы многочисленные случаи проявления субмаринной разгрузки подземных вод из водоносных горизонтов, сложенных карстующимися отложениями юры и мела [13]. В прибрежной зоне Юровским Ю.Г. отмечена разгрузка в районе устья р. Жозе-Квара. Возможна разгрузка через конусы выноса других рек, впадающих в Гагринский залив: Цихерты, Гагриш, Репроа. В северной части Гагринского залива – группа субмаринных источников, приуроченных к обнажениям карстующихся известняков среднего мела (готерив –баррем) [28].

Гагра –Сухуми 1 , 4 , 5 ,

6, 7

1 а, б,

2 а, б, в,

6

На участке Гагра–Пицунда разгрузка карстовых подземных вод возможна транзитом в аллювиальные отложения р. Бзыбь (многочисленные источники наблюдались Юровским Ю.Г. в конусе выноса р. Бзыбь). На участке Пицунда –р. Гумиста выявлен ряд проявлений субмаринной разгрузки в пределах глубин 10–0 м и в районе м. Мастры, м. Бомбара, п. Гудауты, Новый Афон [42].

Основные водоносные горизонты –карбонатные отложения нижнего и среднего мела –палогена. Тип разгрузки – как сосредоточенный на участках обнажений на дне коренных пород, так и рассредоточенный, через современные донные отложения небольшой мощности.

Г ла ва 5.

О П Ы Т И З У Ч Е Н И Я С У Б М А Р И Н Н Ы Х И С Т О Ч Н И К О В В Ч Е Р Н О М М О Р Е

Для практического использования в водоснабжении целесообразно изучение только высокодебитных источников. Таковыми можно считать источники с дебитом 10–00 л/с (864 –86400 м³/сут), то есть относящихся к значительным источникам, или к 6-му классу третьего типа классификации источников по дебиту (Справочное руководство гидрогеолога, 1979 г., т.1, стр. 143). При высокой стоимости подводных работ, сооружение каптажных устройств и про-

кладка трубопровода на берег для источников с меньшим дебитом будет убыточным. В прибрежной зоне Черного моря известны три группы источников со значительным дебитом: у поселка Гантиади, в Гагринском заливе (Кавказское побережье) и у мыса Айя (Крым). Результаты изучения первой группы достаточно подробно изложены в работе [51], поэтому остановимся лишь на двух последних.

Гагринокийзалив Субмаринная разгрузка проявляется во многих частях Гагринского залива, в том числе в северной его части. Здесь, в нескольких сотнях метров от санатория «Украина» на берегу обнажаются светло-серые, трещиноватые, окремненные известняки готерив-баррема (K_{1g}–K_{1br}), крутопадающие (углы падения до 45°) в сторону моря. Известняки обнажены и на подводном склоне в виде пологих уступов на расстоянии до 100–50 м от уреза (рис. 5.1.).

В пределах подводного обнажения постоянно функционируют три субмаринных источника, четвертый, частично перекрытый пляжевыми галечными отложениями, расположен на урезе в 135 м северо-западнее. Описание источников приведено в таблице 5.1. (Обследование гагринских источников проводилось Ю.Г. Юровским в 1970–1972 г.г. и 1979–1980 г.г.).

В штилевую погоду струи пресной воды образуют на поверхности моря гладкие овальные пятна среди ветровой ряби и, таким образом, источники легко обнаруживаются визуально. Вода в преде-

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 55

лах пятен в летний период на 6–°Схолоднее морской и от них образуются вытянутые вдольбереговыми течениями поверхностные аномалии (рис. 5.2.). Концентрации хлор-иона в грифонах источников колеблются в пределах 1,078–,973 г/л, в центре пятен на поверхности соответственно от 5,320 до 7,911 г/л при фоновой морской –11,01 г/л. Несколько повышенные значения концентраций по отношению к пресной воде свидетельствуют о поступлении морской воды в факел уже на уровне грифона. Так, в источнике 4, расположенном на урезе, содержание хлор-иона составляет 0,017 г/л. Суммарный дебит трех субмаринных источников, рассчитанный с использованием уравнения движения в октябре 1980 г. составил $0,48 \pm 0,11$ м³/с ($414,72 \pm 95,04$ м³/сут).

Потенциальная возможность субмаринной разгрузки по всей прибрежной зоне Гагринского залива подтверждается результатами выполненной с участием Ю.Г. Юровского грунтовой съемки

масштаба 1:25000 и подводных маршрутных исследований (1978 – 1979 г.г.). Маршруты выполнялись до 12-метровой изобаты на расстоянии в среднем 270 метров от уреза. Протяженность съемочных работ по берегу составила 18 км от п. Алахадзе до санатория «Укра-

Рис 5.1. Геологическая схема участка функционирования субмаринных источников в районе Гагра:

1 –линия берега; 2 –подпорная стенка; 3 –выходы коренных пород; 4 –осыпь; 5 –пляжевые галечные отложения; 6 –субмаринный источник и его номер.

56 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 5.1

О п и с а н и е с у б м а р и н н ы х и с т о ч н и к о в р а й о н а Г а г р а №

Глубина

моря,

(м)

Линейные

размеры,

(м)

Заполнитель

грифона

t, °C

в

гри-

фоне

t, °C

поверх-

ности

моря

Дополнительные сведения

1 18 3,0 0,9×1,3

Открытые тре-

щины, в цен-

т ре крупная

галька

11,5 21,6

Центральная часть грифо-

на фильтрует из мелких тре-

щин, перекрытых галькой.

2 14 2,7 0,7×0,5

Крупная и мел-
кая галька, ще-
бень

11,9 22,5

Грифон полностью покрыт
галькой, конфигурация его
не определена. Размеры
даны по факелу.

3 12 2,5 1,0×0,6

Крупная и мел-
кая галька, ще-
бень

11,8 22,0

Грифон полностью покрыт
галькой и мелкими валуна-
ми. Размеры и configura-
ция грифона определены
по факелу.

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 57

ина». Результаты исследований показали, что на стометровом уда-
лении от уреза донные отложения представлены среднезернистыми
песками с коэффициентами неоднородности $K_n = 1,3-8$ и коэффи-
циентами фильтрации $K_f = 6-5$ м/сут. Встречаются значительные
участки крупнозернистого песка с мелкой галькой ($K_n = 1,9-7$;
 $K_f = 60$ и более м/сут). На 10–0-метровом удалении от уреза
встречаются обнажения коренных пород с открытыми трещинами
и кавернами. На расстоянии 100–70 м от уреза развиты преиму-
щественно мелкозернистые пылеватые пески с отдельными пятна-
ми разнозернистых и крупнозернистых песков. Аналогичная кар-
тина наблюдается и на участке п. Алахадзе –устье р.Бзыбь. Таким
образом, экранирующая роль современных донных отложений по
всему Гагринскому заливу незначительна. Тот факт, что маршрут-
ными наблюдениями не выявлено других проявлений активной суб-
маринной разгрузки, можно объяснить глубокой меженью, во вре-
мя которой проводились работы. Малодебитные источники в пери-
од межени не функционируют, а зона дисперсии смещается на глу-
бину и в сторону берега.

Рис 5.2. Аномалии температуры в приповерхностном (0– см) слое моря

на участке субмаринной разгрузки в районе Гагра:

1 –линия берега; 2 –подпорная стенка; 3 –выходы коренных пород; 4 –осыпь;
5 –изотермы; 6 –субмаринный источник.

58 Гидрогеология прибрежной зоны

Р ай онб ух таЛ ас пи–г Б ал ак ла ва(К ры м)

На этом участке выделяется массив мыса Айя, представляющий собой вертикальный клиф высотой до 600 метров (рис. 5.3). Массив сложен трещиноватыми, мраморизованными известняками верхнеюрского возраста и дислоцирован субвертикальными тектоническими нарушениями (рис. 5.4), по которым развиты многочисленные карстовые образования. Глубина моря у клифа изменяется от 5 до 15 метров у края массива и до 50 м –в центральной части. В западной части массива наблюдаются многочисленные затопленные и полузатопленные морем пещеры и гроты, в ряде которых зафиксирована разгрузка подземных вод. При детальном исследовании проведенных авторами в 1982 –1984 годах, все карстовые полости, а также отдельные крупные трещины были закартированы полуйнструментальной съемкой, каждому объекту присвоен порядковый номер, причем некоторые из них дополнительно получили собственные названия.

В отличие от субмаринных источников Кавказского побережья, грифоны которых расположены на дне, разгрузка в районе мыса Айя имеет принципиально отличный характер. Пресные воды разгружаются из многочисленных трещин боковых стенок карстовых полостей, иногда из тупиковых их частей. На поверхности морской воды в полузатопленных полостях создается распресненный слой, а у входов в полости (полузатопленные, затопленные, отдельные обводненные трещины в клифе) –ареалы распреснения. В таких условиях оценку величины субмаринной разгрузки целесообразно проводить не для отдельных трещин, а для всей полости в целом. Каждая полость при таком подходе будет считаться отдельным субмаринным источником.

Основным методом для определения величины разгрузки был выбран гидрометрический (по уравнению расхода). Точнее он был специально разработан авторами для конкретных природных условий мыса Айя.

В чем же специфика этого вида разгрузки? С гидрофизической точки зрения мы имеем дело с двумя разноплотностными, слабо-

турбулизированными потоками. Верхний слой представлен преимущественно пресной, или сильно распресненной морской водой, а нижний – обычной морской водой. Движение верхнего слоя обе-

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 59

Рис 5.3. Фрагмент массива Айя. В основании (на урезе) видны карстовые полости.

60 Гидрогеология прибрежной зоны

спечивается разгрузкой подземных вод, нижний слой – условно неподвижен. На оба слоя накладывается реверсивное движение воды в полости, генерируемое морским волнением. Между верхним и нижним слоями существует еще третий (переходный) слой с нестабильными характеристиками температуры и солёности.

С гидрохимической точки зрения мы имеем дело с областью активного смешения пресных подземных и солёных морских вод. Верхний слой представляет собой область как бы первичного смешения, а промежуточный слой – область вторичного смешения распресненных морских вод с собственно морскими водами. Таким образом, задача сводится к определению расхода воды в каждом из двух верхних слоев и, затем, доли пресной воды в каждом из них. Причем все эти определения необходимо было провести в замыкающем створе каждой полости.

Уже первые наблюдения показали, что использование стандартных океанологических приборов (батометров, термометров, вертушек и др.) невозможно, хотя бы по той простой причине, что их размеры намного превышают толщину слоев. Для вертушек также неприемлемо использование в реверсивных потоках. Поэтому, поми-

Рис 5.4. Трещиноватые известняки верхнеюрского (J₃O) возраста (основание массива Айя).

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 61

мо специально изготовленного комплекта приборов и аппаратуры, пришлось разрабатывать и новую методику проведения натуральных наблюдений и расчета дебитов [109].

Наиболее водообильной оказалась полость №1, заложенная по крутопадающему тектоническому нарушению и сопровождающей его зоны дробления известняков. Общий вид полости и ее план представлены на рисунках 5.5. и 5.6.

Несколько менее водообильны расположенные рядом полости №2 («Боковая», см. рис. 5.7) и №3 («Сифон»). Результаты измере-

Рис 5.5. Входное отверстие полости №1 в районе мыса Айя. (фото)

62 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 5.6. План полости №1 и степень распреснения морской воды у отдельных трещин.

1 –обозначение отдельной трещины и ее номер; 2 –затопленные полости и номера трещин их заложения; 3 –точки измерения скоростей, температур и отбора проб воды на рабочем створе; 4 –концентрация хлор-иона в г/дм³.

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 63

ния расходов воды в период глубокой межени маловодного десятилетия сведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Р а с х о д ы р е с н о й в о д ы и з п о л о с т е й м ы с а А й я №

(название)

полости

Дата

измерений Расход

(л/с)

№ 1. 8.08.82 43,72

11.10.83 25,54

21.07.84 27,37

№ 2 «Сифон» 21.07.84 9,97

№ 3 «Боковая» 21.07.84 11,42

Разгрузка из пещер–источников, гротов и отдельных водообильных трещин создает на поверхности моря ареалы распреснения – поверхностные аномалии. Детальные съемки солености позволили установить конфигурацию этих аномалий и градиенты солености внутри них (рис.5.7.). Далее, с помощью аналоговой вычислительной машины (сеточная модель АВМ БУСЭ –70) на базе уравнения турбулентной диффузии была рассчитана суммарная величина субмаринной разгрузки. В период межени 1983 года она составила 39,9 л/с или 361,8 м³/сут, а для межени 1984 года 52,41 л/с или 45,28 м³/сут [116].

В 90-е годы идею метода «скорость –площадь» для оценки субмаринной разгрузки в карстовых полостях использовали ученые Морского гидрофизического института (МГИ НАН Украины, г. Севастополь).

Показательно, что теоретическое обоснование метода, выполненное разными авторами, имеет сходные черты [50]. По случайному совпаде-

нию оба обоснования метода опубликованы в одном номере журнала. Результаты регулярных наблюдений МГИ приведены в таблице 5.3. Измерения авторов проводились в маловодное десятилетие, когда многие крупные источники этого карстового района, в том числе Скельский, вообще пересыхали. Поэтому, вполне закономерно, что приведенные в таблице 5.3. величины дебитов в 2– раз больше, чем измеренные нами в 1983–984 годах. Кроме того, следует учитывать внутригодовые вариации дебитов карстовых источников района.

На-64 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 5.7. Ареал распреснения, вызванный субмаринной разгрузкой подземных вод на участке исследования [116]:

1 –изохлорины; 2 –линия берега; 3 –отдельная скала в море.

Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников... 65

Таблица 5.3

Р а с х о д ы п р е с н о й в о д ы в к а р с т о в ы х п о л о с т я х и с с л е д у е м о й п л о щ а д и п о д а н н ы м М о р с к о г о г и д р о ф и з и ч е с к о г о И н с т и т у т а Н А Н У к р а и н ы [50].

Год

проведения наблюдений

Дебит

(м³/сут)

1993 4500

1994 5500

1995 6500

1996 10000

1997 9500

1998 10000

пример, среднемесячный дебит Скельского источника, имеющего, как и субмаринные источники, область питания на Ай-Петринской яйле, изменяется от 0,15 м³/с в сентябре до 2,85 м³/с в январе [38].

К сожалению, в отличие от субаэральных, режим субмаринных источников практически не изучен. Не изучался режим источников и в районе мыса Айя, так как разовые измерения, приведенные в таблицах 5.2 и 5.3 нельзя считать режимом. Аналогия при сопоставлении со Скельским источником достаточно условна. Можно лишь предполагать, что в паводковые периоды дебит субмаринных источников в районе мыса Айя на полтора –два порядка выше, чем в меженный период.

В мировой иерархии высокодебитных субмаринных источников Черноморские источники занимают скромное место. Мировым

чемпионом можно считать источник Кресент Бич, который по некоторым данным [130] имеет дебит 42 м³/с. Такой дебит сопоставим с расходом средней реки. Для сравнения приведем известные нам дебиты субмаринных источников в Черном, Средиземном и Карибском морях (табл. 5.4) Возможно, что при оценке паводковых расходов источников у мыса Айя их рейтинг существенно повысится. Уже имеющиеся данные показывают, что эти источники перспективны для практического использования, например, в плане улучшения водоснабжения городов Балаклава и Севастополь. Перспективность их использования для водоснабжения подтверждается еще тем, что вода этих источников соответствует всем требованиям ГОСТа «Вода питьевая» и не нуждается в очистке.

66 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 5.4

Дебиты припаводных источников в

Страна, (местоположение)

Наименование

источника

или группы

источников

Дебит

(м³/с)

Количество

выходов (грифонов)

учтенных при

оценке суммарного

дебита

Расстояние

от уреза

(м)

Разгрузка из гротов

и пещер

Греция

Anavalos 9–0 затопленные

Kiveri 8–1

Itea 1 – Грузия (Абхазия)

Гагры 0,5–,8 4 0–4

Гантиади 2 13 30–0

Ливан Chessa 60 17 50–500

Сирия Banias 2 – США Creient Beach 42 1 4022

Турция Ovasik 1 50–00

Украина (Крым) Мегало-Яло 0,3–,5 5 затопленные и полузатопленные

Франция Port Miou 10 затопленные

Ямайка Rio Bueno Bay 1– 1 1610

Г ла ваб.

КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЕЙ

Карстовые процессы в прибрежной зоне морей обуславливают функционирование большого количества высокодебитных субмаринных источников. Среди известных субмаринных источников преобладают (до 95%) источники, связанные именно с водоносными горизонтами в трещиноватых закарстованных породах.

Высокий гидростатический напор в зоне разгрузки обеспечивается, как правило, в тех случаях, когда водоносный горизонт располагается на суше в пределах приморских горных сооружений (здесь на карстовых плато находится область питания горизонта), а затем гидрогеологическая структура погружается ниже уровня моря. Подобная ситуация проиллюстрирована на рис.6.1.

Многие побережья Мирового океана сложены породами, подверженными процессам образования карста. Так, морской карст развит в известняках плейстоценового возраста на Средиземноморском побережье Ливии к западу от города Триполи, где ширина карстовой известняковой зоны достигает 200 километров [17]. Проявления карстовых процессов в известняках можно наблюдать в районах восточно-африканского океанического побережья и по берегу Красного моря. Всемирно известны подводные источники в Персидском заливе. Уникальные условия субмаринной разгрузки существуют на острове Бахрейн, в геологическом разрезе которого доминируют известняки и доломиты.

Субмаринные источники изобилуют на подводных склонах островных систем с ярко выраженным горным рельефом (Большой и Малый Зондский архипелаги, Большие Антильские, Филиппинские острова и др.). Типичную карстовую область представляет со-

бой полуостров Юкатан (Мексика), где площадь развития разновозрастных известняков составляет примерно 100 000 км² при длине береговой линии в 1000 км. Большое число субмаринных источников известно у берегов Австралии, где широко развиты нижнепалеозойские известняки и закарстованные палеогеновые отложения в пределах береговой равнины.

68 Гидрогеология прибрежной зоны

Карст является очень мощным агентом эрозии, видоизменяющим дневную поверхность и пути транзита подземных вод.

Для развития карста необходимыми являются следующие условия [17]:

1. Наличие растворимой в природных водах горной породы (известняк, доломит, мел, мелоподобный мергель, мрамор, гипс, соль), водопроницаемость которой обусловлена развитием трещиноватости или высокой открытой пористостью;
2. Наличие растворителя –агрессивной по отношению к горной породе воды;
3. Наличие условий, обеспечивающих водообмен –отток насыщенной растворенным веществом воды и постоянный приток свежего растворителя.

В основе возникновения карстовых явлений лежит химический процесс растворения горной породы и геологический процесс её выщелачивания, т.е. растворения с удалением растворенного вещества.
Рис. 6.1. Схематический разрез приморского карстового водоносного горизонта.

Глава 6. Карстовые процессы в прибрежной зоне 69

ства. Иными словами, развитие карста осуществляется путем растворения материнской породы с последующим удалением растворенного вещества подземными водами.

Карстовые процессы в карбонатных породах зависят от растворения известняка содержащими углекислоту водами. При этом для существенного растворения карбонатов требуется агрессивная, кислая по составу вода, попадающая на поверхность породы. Агрессивность в отношении процесса растворения может быть усилена за счет смешения вод, отличающихся различным содержанием CO₂, H₂S или соленостью [144]. Особый интерес в этом отношении представляет развитый на морских побережьях карст, где процессы растворения реализуются в условиях зоны смешения пресных и морских вод.

Для области смешения морских и карстовых вод характерны большие температурные градиенты, изменения солёности, окислительно-восстановительного потенциала и неустойчивость карбонатного равновесия. Однако тенденция к растворению карбонатов уменьшается при высоком содержании морской воды [120], что обусловлено как более высокими концентрациями гидрокарбонатов в морской воде, так и значительными отличиями в содержании CO₂. Процесс карстообразования в этих условиях приобретает некоторые специфические черты, в частности, возникают обстановки, способствующие одновременно растворению кальцита и отложению доломита (обладающего более высокой плотностью и, естественно, занимающего меньший объём). Пресные воды, насыщенные атмосферным CO₂, очень агрессивны в отношении CaCO₃ и рассеянных в известняках металлов (Pb, Zn, Fe и др.). Высокие содержания Mg²⁺ и Ca²⁺ в морской воде обусловлены наличием большого числа анионов Cl⁻, SO₄

²⁻ и др. В зоне смешения пресных и солёных вод в результате, например, 10-кратного разбавления морской воды образуются растворы, резко ненасыщенные в отношении CaCO₃, но перенасыщенные по отношению к двойным солям Mg и Ca – доломиту и хантиту, которые и выпадают в осадок [16]. Для доломита – это реакции осаждения магния на карбонатном барьере типа:



70 Гидрогеология прибрежной зоны

Эти процессы резко интенсифицируются в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, уменьшающих концентрацию SO₄

²⁻ в растворе. В нижней части этой химической системы, где еще сохраняются достаточно высокие содержания Ca²⁺, может осадаться флюорит (отдельно или вместе с сульфидами в восстановительных условиях), минералогически маркируя зону смешения пресных и морских вод (с возможным формированием стратиформных флюорит-галенит-сфалеритовых месторождений).

Положение области смешения постоянно изменяется, причем изменения зависят главным образом от режима питания подземных вод, приливно-отливных или сгонно-нагонных изменений уровня моря. На побережье центрального Сомали между п. Мерка и Уар-

секом безнапорные пресные воды залегают над солеными водами в трещиноватых известняках на глубине нескольких метров от поверхности земли. Приливно-отливные волны высотой более трех метров вызывают изменение пьезометрической поверхности на расстоянии 500–00 м от уреза. В районе Джасиры в скважине, пробуренной в двухстах метрах от уреза, вскрыта двухслойная система пресных и морских вод. Пятнадцатиметровый слой пресных вод залегает на соленых с минерализацией 30–2 г/л. При амплитуде прилива-отлива 1,8–0,9 м уровень воды в скважине изменяется на 0,35 м с запаздыванием на один час. В тоже время поверхность раздела пресных и соленых вод испытывает колебания, достигающие 9 м [119]. На острове Крит (Греция) наоборот, верхняя часть двухслойной системы представляет собой смесь пресных и морских вод, а нижняя часть представлена карстовыми водами [143].

В области смешения пресных подземных и морских вод могут происходить два разнонаправленных процесса: растворение карбонатных пород и минералов и выпадение их из раствора. Довольно подробный анализ этих процессов, где процесс растворения назван «коррозией смешивания» приведен в работе В. Н. Дублянского и Т. З. Кикнадзе [38]. В ней, в частности, упоминается графическая модель эволюции карстовых вод морских побережий Я. Рудницкого (рис. 6.2). Компильтивная модель хорошо иллюстрирует, в какой области смешения пресных и морских вод происходит цементация, а в какой коррозия. Очевидно, за длительный период времени эти процессы могут существенно изменять коллекторские свойства пород в

Глава 6. Карстовые процессы в прибрежной зоне 71

прибрежной зоне и придавать определенный морфологический облик побережьям, сложенным карбонатными породами.

Специальные исследования, посвященные геоморфологическим особенностям берегов в области разгрузки карстовых вод, провели американские и греческие ученые [133] на полуострове Мани (Пелопоннес, Греция). В качестве основной гипотезы было принято положение о том, что при смешении пресной воды, поступающей в прибрежную зону в виде субмаринной разгрузки, и морской, образуется такой раствор, который геохимически является более активным, чем его составляющие до смешения. Для подсчета насыщенного состояния воды в отношении кальцита, арагонита и доломита была использована компьютерная модель WATERQF, где

$S_1 = \log (\text{Произведение ионной активности} / \text{Константа равновесия растворимости})$:

Рис. 6.2. Химическая эволюция карстовых вод морских побережий (по Рудницкому Я.), где I, II – кривые растворения CaCO_3 в минерализованной воде (I – по Дебаю-Хюккелю; II – по Эдмонду Гескесу); 1, 2 – линии смешения пресных карстовых вод с морскими водами при насыщении (1), при двукратном пересыщении CaCO_3 (2).

72 *Гидрогеология прибрежной зоны*
, (6.3)

где PR_i – произведение растворимости минерала, a_i – активные концентрации растворенных компонент минерала.

Положительные значения индекса S_1 указывают на то, что вода перенасыщена в отношении минералов. Отрицательные значения указывают на недостаточное насыщение, а ноль – на равновесие. Попутно отметим, что в самой модели новым является только компьютерный вариант. Более полно экспериментальные модели и константы равновесия рассмотрены в работе Т.К. Федоровой [91]. Другими учеными по данным реальных наблюдений были построены эмпирические зависимости равновесия растворимости кальцита с учетом P_{CO_2} [143], показанные на рисунке 6.3.

Максимальная недонасыщенность (–, 14) подсчитана для раствора, содержащего 11–5% морской воды. При последующем добавлении морской воды индекс S_1 увеличивается, а в смеси, где морской воды более 37% раствор становится перенасыщенным. Многократные опробования вод залива Мессиния с выполнением изотопных анализов ^{18}O , ^{13}C показали, что воды залива содержат на 31 мг/л бикарбонатов больше, чем чисто морские (фоновые). По мнению авторов, это может объясняться только притоком пресных карстовых вод.

Анализируя обширный материал по южной части Пелопоннеса, ученые приходят к такому выводу: заливы (в том числе Дурос) и пещеры (в том числе такие крупные, как Алепотрима и Глифада) образовались в результате комплекса природных причин. Комплекс включает тектонические движения (поднятия), трещиннообразование, колебания уровня карстовых вод и геохимические реакции. Добавим, что подобный набор причин характерен и для других побережий Мирового океана, в том числе центральной Америки (полуостров Юкатан), Средиземноморского побережья Фран-

ции и других регионов.

Используя упомянутую графическую модель Я. Рудницкого для юго-западного Крыма, можно сделать следующее заключение.

В очагах разгрузки подземных вод у мыса Айя соленость в преде-

Глава 6. Карстовые процессы в прибрежной зоне 73

Рис 6.3. Экспериментальные данные по заливу Мессиния (по [133])

а) показатель насыщения кальцита в зависимости от процентного содержания смеси подземных и морских вод в заливе в консервативной смеси. Точки – значения насыщения грунтовых вод, линия – консервативная смесь.

б) зависимость логарифма парциального давления двуокиси углерода от процентного содержания смеси вод в заливе Мессиния.

74 Гидрогеология прибрежной зоны

лах карстовых полостей ниже 10‰, т.е. лежит в области коррозии. На выходе из полостей смесь также не достигает насыщения. Расчеты подтверждаются натурными наблюдениями: в области смешения повсеместно отмечается увеличение раскрытия трещин. По краям трещин заметны следы коррозии. В полостях отсутствуют натечные образования.

Для плотных мраморизованных известняков, слагающих берег в районе мыса Айя, процессы растворения в разрушении клифа все же играют подчиненную роль. Об этом свидетельствует сравнительно небольшая величина полостей и обширные участки монолитных известняков в области распреснения морских вод. Определяющим фактором воздействия на клифы здесь следует признать волноприбойную деятельность, наиболее результативно проявляющуюся на участках тектонического дробления известняков и повышенной трещиноватости.

Исследованиями Беннера Р. (1978) и Редди М. (1981) было установлено, что процесс растворения минералов, в том числе биогенного кальцита, в море контролируется лишь скоростью поверхностных реакций, а не скоростью течения раствора или диффузией, происходящей на поверхности зерен минерала. Иначе говоря, скорость процесса растворения весьма мала и в больших массивах известняков может ощутимо проявляться лишь в длительных отрезках геологического времени.

Сочетание процессов растворения и волноприбойной деятельности более наглядно проявляется на берегах, сложенных слабосцементированными карбонатными породами. Таковыми являются органи-

генные известняки неогенового возраста на побережье полуострова Тарханкут. Растворение их идет во многих случаях по трещинам напластования. Ослабленные плиты под действием волновых нагрузок обламываются и смещаются волноприбойным потоком. В результате на дне образуется характерный ступенчатый рельеф, а в приурезовой части наблюдаются специфические формы микрорельефа в виде ямок, канавок и сотовых образований. Участки относительно плотных известняков образуют вертикальные клифы со значительной глубиной на урезе, в плане образующие выступы и мысы.

В заключение этой краткой главы уместно заметить: несмотря на давнюю историю изучения карстовых процессов и явлений, мно-

Глава 6. Карстовые процессы в прибрежной зоне 75

гие вопросы развития их в прибрежной зоне остаются открытыми. Разнообразие геологических, гидрогеологических, климатических и других условий позволяет не только детализировать уже известные схемы карстообразования, но и создавать новые. Изучение субмаринного карста нуждается в специальных подходах и приемах исследований. Разработка их потребует усилий многих специалистов – геологов, гидрогеологов, спелеологов и геоморфологов. Особенно плохо изучены проблемы техногенного развития карста на морских побережьях.

Глава 7.

ТЕРМАЛЬНЫЕ СУБМАРИННЫЕ ИСТОЧНИКИ Следуя

большинству классификаций подземных вод по температуре (А.Е.Щербаков, А.М.Овчинников, Б.Ф.Маврицкий и др.), будем различать субмаринную разгрузку холодных –до 20 °С, субтермальных –от 20°С до 37 °С и термальных –свыше 37 °С вод. В океане разгрузка термальных вод приурочена к тектоническим образованиям рифтовых зон (Калифорнийский залив), современным вулканическим постройкам субдукционного типа и горячим точкам (периферия Тихого океана, Новая Зеландия и др.), а также некоторым вулканам коллизионного типа, расположенным во внутренних морях (о. Вулькано, Средиземное море). Здесь и далее классификация вулканов приводится по В.В. Юдину [103]. В отдельных случаях происхождение субтермальных источников может быть связано с экзотермическими реакциями (Средиземное море, побережье Франции).

Повышенное внимание геологов к подводным гидротермам об-

условлено насущными проблемами изучения гидротермального осадочного рудогенеза. Термобарические условия образования термальных вод способствуют растворению минералов, контролируют распределение летучих компонентов между жидкой и газообразной фазами. Резкое понижение давления и температуры при разгрузке термальных вод вызывает быстрое осаждение большинства компонентов из раствора. Наиболее наглядным примером этого процесса служат факелы «черных курильщиков» – действующая в настоящее время модель образования многих месторождений сульфидных руд и полиметаллов. Однако, изучение «курильщиков» возможно только с помощью глубоководных аппаратов и другой дорогостоящей техники. Более доступны для наблюдения термы, расположенные в прибрежной зоне, хотя ученые отдают себе отчет в том, что механизм их функционирования несколько иной.

В таблице 7.1 приведены данные некоторых известных и сравнительно полно изученных гидротермальных субмаринных источников в прибрежной зоне. Все они характеризуются проявления-

Глава 7. Термальные субмаринные источники 77

ми современного рудогенеза, высоким содержанием в воде различных металлов, в десятки и сотни раз превышающие фоновые концентрации в морской воде и донных отложениях. Среди приведенных в таблице 7.1 данных следует выделить детальные работы по изучению литоральных, подводных и субаэральных источников в районе Пунта Банде, округ Эсиянда в Нижней Калифорнии [147, 148]. Все гидротермы района четко локализируются в пределах сбросов Агуа Бланка и Санта Томас, частично расположенных на суше и трассирующихся в акваторию залива Тодос Сантос.

Определяя концентрацию изотопов кислорода (^{18}O) и дейтерия (δD), температуру, минерализацию и химический состав вод источников, авторы [147, 148], используя формулы смешения, установили, что разгружающиеся воды уже на уровне грифонов представляют собой смеси разных пропорций с метеорными водами со значительным понижением солености по отношению к морской воде (табл. 7.2). Далее, рассматривая зависимость растворимости кремния от температуры, произвели расчет, показывающий, что при $T_{\text{вых}}=108\text{ }^\circ\text{C}$ и концентрации растворенного кремния 160 мг/л глубинные области смешения с метеорными должны были иметь температуру порядка 280 $^\circ\text{C}$ и концентрацию растворенного кремния 276 мг/л. Анало-

гичный расчет для источников в приливной зоне (литорали) показал, что при $T_{\text{вых}}=60-5$ °С и концентрации растворенного кремния 105 мг/л, подземные воды в области смешения имеют температуру 213 °С и концентрации растворенного кремния 301 мг/л.

В своих работах В. и Ф. Видадь [147, 148] не приводят величину дебита субмаринных и литоральных источников. Работа их была направлена на изучение энергетического потенциала гидротермальных систем, расположенных на суше. В связи с этим, рассмотрим применимость упомянутых в главе 2 решений для оценки дебитов субмаринных источников.

Высокая температура источников Пунта Банде, колеблющаяся в пределах 60–08 °С не позволяет использовать полученные нами эмпирические соотношения пульсационных составляющих в факелах с положительной плавучестью. Как для открытого, так и для закрытого грифонов отношения $T_{\text{вых}}/T_{\text{ср}}$ лежат в пределах 1,65–2,04, а разность температуры на выходе (на дне грифона) и вмещающей среды не превышает 20 °С. Кроме того, в факелах источников Пунта

78 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 7.1

Х а р а к т е р и с т и к а г и д р о т е р м а л ь н ы х и с т о ч н и к о в в п р и б р е ж н о й з о н е м о р е й [78, 147, 148]

Район: координаты, глубина моря

Характеристика рудопроявлений и гидротерм

Содержание рудных компонентов

Фактический материал

1 2 3 4

Тиренское море, Эолийская островная дуга, о. Вулькано:

38°26' с.ш.

14°58' в.д.

до 15 м

Сульфиды, большое количество активных гидротерм

$T \leq 85 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\text{Fe} \leq 20,2\%$

$\text{Sb} \leq 640 \cdot 10^{-4}\%$

$\text{As} \leq 65 \cdot 10^{-4}\%$

$\text{Cu} \approx 90 \cdot 10^{-4}\%$

$\text{Zn} \approx 600 \cdot 10^{-4}\%$

$\text{Pb} \approx 100 \cdot 10^{-4}\%$

$\text{Mn} \approx 960 \cdot 10^{-4}\%$

Водолазные погружения, пробоотбор

Полуостров Пунта

Банде (США, Калифорния):

$31^\circ 46' \text{ с.ш.}$

$116^\circ 45' \text{ з.д.}$

25-30 м

Пиритовые и баритовые инкрустации в гидротермально измененных магматических породах и осадках

$T = 102 - 04^\circ\text{C}$

в породах:

$\text{Fe} \approx 23\%$

$\text{Mn} \approx 2\%$

в осадках:

$\text{Fe} \approx 9\%$

$\text{Mn} \approx 2\%$

Пробоотбор и гидрологи-

ческие иссле-
дования

о. Новая Британия,

бас. Матупи, Хар-

бор:

5°30' ю.ш.

153°20' в.д.

до 65 м

Гидротермаль-

но измененные

осадки с гидроо-

кислами Fe и Fe

корки, пирит

T = 44 –02°C

Fe=17,6...44%

Mn=0,02...1%

Пробоотбор

и гидрологи-

ческие иссле-

дования

арх. Новые Гебри-

ды, подв. вулкан

Керуа:

16°50' ю.ш.

168°32' в.д.

10 м

Сульфиды Fe и

Cu, гидроокис-

лы Fe в осадках,

признаки гидро-

термальной ак-

тивности

T = 60 –82 °C

Fe=12...30%

Cu≈143·10⁻⁴%

Zn≈90·10⁻⁴%

Pb≈10·10⁻⁴%

Ni≈24·10⁻⁴%

Пробоотбор
м. Сулавеси
подв. вулкан Бану-
Вуху;
до 30 м
Гидроокислы Fe
и Mn в осадках
активного фума-
рольного поля
 $Fe_2O_3 \leq 46\%$
 $MnO \leq 7\%$
Zn, Ni, Co, Pb
Наблюдения
и пробоотбор
Советско-Ин-
донезийской
экспедиции

Глава 7. Термальные субмаринные источники 79

Банде распределение плотностей по оси факела может отличаться от параболического [51]. При глубине источника 35–30 м величина напора не будет иметь решающего значения, так как с его изменением величина амплитуды пульсационных составляющих изменяется незначительно [5, 107].

Факелы источников Пунта Банде обладают высокой плавучестью не только за счет разности температур подземных и морских вод, но и за счет разности минерализаций. Соотношение минерализаций составляет $\Delta S = S_{ист}/S_{фон} = 17,10/33,57 = 0,51$. Высокая плавучесть, даже без учета начального напора в грифоне источника, позволяет факелам достигать поверхности моря с указанных выше глубин уже при дебите 4 л/с. При больших дебитах аномалии на поверхности моря будут иметь линейные размеры в сотни метров. Дебит субмаринных источников с такими параметрами целесообразно оценивать по уравнению теплового баланса. Пример расчетов для Средиземного моря с подробным описанием методики приведен в работе [115]. При диаметре грифона 0,5 м, $T_{вых} = 35^\circ C$, $T_{ср} = 18^\circ C$ и глубине моря 10 м, радиус поверхностной аномалии составляет 200 м, а дебит 4 л/с.

В зонах активного вулканизма разгрузка подводных терм часто сопровождается выделением спонтанных газов, поднимающихся к поверхности моря в виде пузырьков и отдельных струй. Такое явление

Продолжение таблицы 7.1

1 2 3 4

Марианская

островная дуга,

подв. вулкан Эс-

меральда:

15°00' с.ш.

145°16' в.д.

50–00 м

Гидроокислы Fe и

Mn в виде корок и

налетов. Сульфиды

Fe с самородной

серой, фумароль-

ное поле

В корках и

налетах:

Fe=10...18,5%

Mn=0,4...4,3%

в цементе:

Fe=5,6...15,8%

Mn=0,3...3,8%

Драгирова-

ние, сейсмо-

профилиро-

вание 4 2 5

рейса НИС

«Вулканолог»

лог»

б. Кратерная,

о. Янкича,

подв. вулкан Уши-

шир;

10–0 м

Многочисленные

гидротермальные
выходы, рудные
компоненты во
взвеси

$T = 82 - 87 \text{ } ^\circ\text{C}$

Повышенное
содержание Fe,
P, Ti, Al, малых
элементов

Пробоотбор,
подводные
наблюдения

80 Гидрогеология прибрежной зоны

ление можно наблюдать в газогидротермах вулканических построек субдукционного типа –островов Уайт и Уэйл в заливе Пленти (Новая Зеландия). Состав газов, отбиравшихся с помощью ловушек в fumarолах на суше и выходящих на дне, весьма интересен [78].

При глубинах моря 0–4 м в их составе преобладает углекислота – до 84,3%. Среди других составляющих обращает на себя внимание

водород –0,03–0,12 %, метан –8,5–2,0 % и тяжелые углеводороды, в том числе C_2H_6 –0,8–0,085 %. По составу газов субмаринные гидротермальные выходы отличаются от поверхностных fumarольных. В них на два порядка ниже содержание метана и более высокое, до 1,37 % содержание водорода. Вода подводных гидротерм имеет температуру порядка 80°C , пониженные по отношению к морской на 0,2 % соленость и на 0,2 единицы значения pH, повы-

Таблица 7.2

Геохимические характеристики флюидов в гидротермах на острове Банде[147, 148]

Источ-

ник

Дата

отбора S, ‰ δD , ‰ $\delta^{18}\text{O}$,

‰

SiO_2 ,

мг/дм³ T, $^\circ\text{C}$

Систочника./

S_{мор.воды}

Берего-

вой

08.19-

76 0,54 -48,3 ±

1,0

-7,65 ±

0,20 23 65 -70 1,6·10⁻²

Урупан 04.19-

77 0,54 -48,8 ±

0,2

-7,39 ±

0,03 23 65 -70 1,6·10⁻²

В п р и -

ливной

зоне

08.19-

76 8,61 -37,4 ±

1,0

-5,35 ±

0,2 105 60 -65 0,26

04.19-

77 8,61 -37,7 ±

0,2

-25,33

± 0,03 н.с. 60 -65 0,26

Су б м а -

ринный

08.19-

76 17,762 -25,4 ±

1,0

-3,45 ±

0,2 154 102 - 104 0,53

05.19-

77 17,760 -27,3 ±

0,2

-3,44 ±

0,3 163 102 - 104 0,53

Морская

вода

(фон)

08.19-

76 н.с. $-2,1 \pm$

1,0

$-0,45 \pm$

0,2 0,4 н.с. 1,0

04.19-

77 37,57 $-2,3 \pm$

0,2

$-0,27 \pm$

0,03 н.с. 12 1,0

Глава 7. Термальные субмаринные источники 81

шенное содержание кремния. По-видимому, как и в случае с источниками Пунта Банде, эти показатели отражают процесс смешения с метеорными водами, хотя и в меньших масштабах.

Судя по описанию в упомянутой выше работе [78], подводные термы в прибрежной зоне островов Уайт и Уэйл имеют самые различные дебиты. Встречаются источники и с очень значительным расходом. Так, на глубине 165 м струи горячей воды и газа имели такой напор, что перемещали вверх подводный аппарат с исследователями на борту.

Большинство известных подводных гидротерм в прибрежной зоне обнаруживаются визуально. Вода субмаринных источников вулкана Бану–Вуху в Индонезии окрашена в красный цвет за счет окисления железа, в других случаях она может иметь темный цвет за счет окисления марганца и т.д. Источники в Новой Зеландии обнаруживаются по менее прозрачной воде, насыщенной пузырьками газа. Но на этом легкость изучения их заканчивается. Высокая температура выходов и активное окисление металлов вынуждают исследователей использовать специальные датчики и приборы, проводить дистанционные наблюдения. Однако трудности изучения подводных гидротерм вполне компенсируются ценностью получаемой научной информации.

Г л а в а 8.

О В Л И Я Н И И Г И Д Р О Г Е О Л О Г И Ч Е С К И Х

Ф А К Т О Р О В Н А Д И Н А М И К У

П Л Я Ж Е В Ы Х О Т Л О Ж Е Н И Й Согласно терминологическому справочнику

«Морская геомор-

фология. Терминологический справочник, 1980», береговая зона состоит из трех геоморфологических элементов: берега, подводного склона и пляжа. Таким образом, пляж является важнейшей частью береговой, а в нашем понимании прибрежной зоны. О том, какое влияние оказывают гидрогеологические факторы на формирование этого динамического аккумулятивного образования, мы попытаемся выяснить в настоящей главе.

Проблемам формирования пляжей посвящено множество отечественных и зарубежных работ. И не удивительно, ибо проблем в этой области более чем достаточно. Упомянем только две из них. В геологии формирование пляжей тесно связано с образованием прибрежно-морских россыпных месторождений. Заинтересованность в изучении пляжей инженеров-геологов объясняется, прежде всего, практической направленностью –разрушением морских берегов волнением. В начале двадцатого века этот процесс был назван абразией (В.М. Девис, 1912; Д.В. Джонсон, 1919) по латинскому слову «*abrasion*» –соскабливание. В смысловом отношении термин справедлив для процесса разрушения консолидированных коренных пород. Применительно к аккумулятивным берегам или берегам, сложенным рыхлыми отложениями процесс их разрушения волнением и размыв волнением и течениями правильней назвать эрозией берега (*coastal erosion*).

При исследовании миграции пляжевых отложений, устойчивости к эрозии подводной и надводной частей пляжа в большинстве известных работ учитывались только параметры морской среды –ветровые и одиночные волны, являющиеся универсальными агентами переноса пляжевого материала [41, 44, 47, 56, 57, 81, 99 и др.]. Пожалуй, наиболее точно это направление отражено в названии книги Вилларда Баскома «Волны и пляжи» [8], переведенной *Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 83*

на русский язык в 1966 году. Разгрузка подземных вод через пляжи при тех же параметрах морского волнения существенно изменяет устойчивость пляжевых тел. Опубликованных работ, посвященных этому вопросу, сравнительно немного и они малоизвестны. Поэтому, остановимся на них более подробно.

Миграция пляжевых песков в период сизигийных приливов и одновременно разгрузка подземных вод изучалась на пляже Саус Бич (Воллонгонг) в Австралии [131]. Длина пляжа, вытянутого в на-

правлении с севера на юг, составляет 4– км. От уреза моря до изобаты 20 м повсеместно прослеживается пологий подводный склон. На всем протяжении пляжа тыловая его часть причленяется к дюне шириной 30–0 м и высотой 3,5 м. Механический состав и водно-физические свойства пляжевых отложений представлены в таблице 8.1, а структурные элементы песчаного пляжа на рисунке 8.1.

Для справки: берма –слабо наклоненная в сторону моря сторона пляжа. Наиболее хорошо выражается на песчаных пляжах, иногда в виде двух-трех ступеней, разделенных более крутыми склонами. Наблюдения проводились по двум профилям, оборудованным шестью скважинами –по три на каждый профиль. Причем южный профиль пересекал бар и небольшой уступ береговой линии, а северный –канал разрывного течения и небольшой залив (рис. 8.2). Уровень воды в скважинах измерялся через 0,5 часа, высотные отметки пляжа отмечались по рейкам установленным с интервалом в два метра.

Результаты проведенных работ подтвердили предположение о взаимосвязи между конфигурацией зеркала грунтовых вод и реакцией пляжа на волнение. В области разгрузки она выражается в более интенсивной переработке пляжевых отложений и изменении типов грунтов. На участке с ненасыщенным состоянием пляжевых отложений отмечена аккумуляция пляжевых песков, а в насыщенной части преобладает эрозия. Изменения отметок пляжа по профилям за пятидесятичасовой цикл наблюдений показаны на рисунке 8.3. Влияние ветровых волн соответствует штилевым условиям, так как зарегистрированные высоты их изменялись в пределах 0,2 –0,8 м. В механизме взаимодействия динамики морской поверхности и пляжа обращают на себя внимание два положения. Первое, запаздывание колебания уровня грунтовых вод по отношению к приливно-

84 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 8.1

Х а р а к т е р и с т и к а п л я ж е в ы х о т л о ж е н и й С а у с Б и ч [131]

Состав Полуокатанный квар-

цевый песок с редкими

карбонатными и шлако-

выми включениями

Доминирующий диаметр частиц (мм) 0,35

Стандартное отклонение 0,05

Коэффициент проницаемости (см/с)

В скважинах 0,60

В изгибах фестонов 0,058

На тыловом склоне центральной бермы 0,079

В зоне штормового заплеска 0,092

Пористость (%) 38

Рис 8.1. Структурные элементы песчаного пляжа приливного моря [131]

1 –приливно-отливная зона, 2 –надлиторальная зона, 3 –литоральная зона, 4 –подлиторальная зона, 5 –уровень моря (нуль футштока), 6 –подводная часть пляжа, 7 –полностью обводненная (насыщенная) часть пляжевых отложений. Зона максимальных скоростей возвратного прибойного потока, 8 –разгрузка подземных вод при отливе в области возвратного течения, 9 –область восполнения подземных вод. Высокие скорости в прибойной зоне могут выносить тонкую фракцию из пляжевых отложений, 10 –зона заплеска и инфильтрации морских вод, 11 –прямой поток прибойной волны преобладает над обратным потоком за счет потерь на фильтрацию, 12 –область максимального заплеска (высыхающая часть пляжа), 13 –сухая часть пляжа (берма), 14 –уровень грунтовых вод.

Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 85

отливным уровням моря. Вследствие этого в толще пляжевых отложений за счет частого изменения уровней подземных вод создается область с определенными физико-механическими свойствами. Размеры области зависят от гранулометрического состава слагающих пляж песков, их проницаемости и гидродинамических факторов –уклонов потока и амплитуды приливо-отливных волн. Время запаздывания для песчаных отложений Саус Бич в период сиггидных приливов по крайним скважинам одного профиля (расстояние 20 м) составляет четыре часа семнадцать минут и два часа две минуты в скважинах у уреза. Иначе говоря, фас пляжа действует на уровень подземных вод как частотный фильтр с низкой пропуск-

Рис 8.2. Профили наблюдения и высотные отметки пляжа Саус Бич. [131]

I –по каналу разрывного течения, II –баровый профиль,

1 –наблюдательные скважины, 2 –волномерное устройство и датчики измерения скорости, 3 –репер водомерного поста.

86 Гидрогеология прибрежной зоны

ной способностью, в котором влияние высокочастотных (ветровых) волн ограничено ближайшей областью литорали.

Второе: масштабы воздействия ветровых волн на тело пляжа.

Глубина воздействия контролируется проницаемостью пляжевых отложений и сопровождается соответствующими изменениями по-

рового давления. Рост давления вызывает разуплотнение песчаных отложений, причем наиболее резко оно происходит в области разгрузки подземных вод. Процесс разуплотнения сопровождается изменением мощности отложений, так как разуплотненный грунт легче смывается прибойным потоком. По экспериментальным данным, приведенным в другой работе, в рыхлых песках изменение мощности происходит в два раза быстрее, чем в плотных песках [128].

Рис 8.3. Характер изменения отметок пляжа Саус Бич за 50-часовой цикл наблюдений: а) по профилю, проходящему через ложбину с разрывным течением, б) по профилю, проходящему через бар.

1 –область накопления пляжевого материала, 2 –область размыва.

Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 87

Об изменении порового давления с увеличением глубины можно судить по результатам экспериментов, проведенных на крупномасштабной гидравлической модели, оборудованной волновым генератором [145]. В серии экспериментов записывалось переменное поровое давление и параметры проходящих над датчиком волн. Запоздывание синусоиды порового давления от синусоиды волны на глубине 0,92 м составило 30%.

Изменения порового давления в морских отложениях изучались в заливе Суруга на острове Хонсю в Японии [136]. При глубине моря 12 м датчик порового давления заглублялся в грунт на 1,5 м, а датчик волнения помещался в 10 м выше поверхности дна. Спектральные характеристики наблюдаемых величин при обработке записей наблюдений за двухлетний период показали идентичность изменения давления в придонном слое и в грунте. Интервал изменения порового давления составил 0,5–7,8 см при коэффициентах затухания 0,5–,85. Также как и в экспериментах на гидравлической модели, упомянутой выше, ослабление колебаний происходило с уменьшением периода волн.

В работе А.Р. Пэквуда [138] рассматривается численная модель влияния пористости пляжевых отложений на прямой и обратный волноприбойный потоки. Модель не учитывает движения наносов и деформации поверхности пляжа. Пляж представляется жестким пористым пластом с уклоном в два градуса. В качестве основной предпосылки создания модели А.Р. Пэквудом принято предположение, что пористость и проницаемость пласта будут прямо влиять на движение воды по его поверхности. Предположение основывалось

на том, что ненасыщенная часть пляжевых отложений будет поглощать воду при нагоне волны, ослабляя прямой и обратный волноприбойный потоки. Соответственно, важным фактором в этом процессе будет положение отметки уровня подземных вод, определяющее величину зоны аэрации. Предпосылка базируется на известном положении, что в случае, когда высота приливной волны значительно превышает отметку уровня подземных вод, волноприбойный поток движется по ненасыщенной части пляжа, поглощающей значительную его часть. Потеря энергии волноприбойного потока стимулирует отложение песчаных фракций в конце заплеска и значительно ослабляет обратный волноприбойный поток. Наоборот, в *88 Гидрогеология прибрежной зоны*

стадии отлива пляжевая зона становится насыщенной подземными водами, отличаясь даже по внешнему виду, получившему название «стеклянный пляж». Заплеск волны на такой пляж менее ослаблен и поддерживает высокие скорости обратного потока, способствуя размыву поверхности пляжа.

В модели А.Р. Пэквуда инфильтрация морской воды в пляжевые отложения подчиняется закону Дарси. Гидростатическое давление, определяемое глубиной воды на пляже – величина переменная, зависящая от ординаты X . В общем виде выражение для этого процесса записывается следующим образом:

, (8.1)

где n – пористость пляжевых отложений, h – глубина воды над поверхностью пляжа, z – глубина просачивания в пляжевые отложения морской воды.

Параметр в свою очередь определяется соотношением:

, (8.2)

где $K\phi$ – коэффициент фильтрации, g – ускорение силы тяжести, Dm – масштабный коэффициент.

При изменении глубины морской воды над поверхностью пляжа от 0 до h за время Δt , определяемой динамикой прибойного потока с использованием коэффициента шероховатости Шези и Маннинга, задача имеет решение в виде:

. (8.3)

Применение уравнения существенно ограничено размерами зерен слагающих пляж: увеличение крупности до размеров гравия и мелкой гальки приводит к нарушению ламинарного движения воды

и, следовательно, к невозможности применения закона Дарси. Для пляжей сложенных мелко и среднезернистыми песками А.Р.Пэквуд использовал следующие параметры: $n = 0,3$; $K\phi = 0,01 - 0,01 \text{ см/с}$;

Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 89

соответственно $= 0,00369 - 0,0369$. В случае, когда проницаемость пляжевых отложений стремится к нулю, $\tau = 0$.

Расчеты показывают, что при набегании одиночной приливной волны на пологий песчаный пляж находящийся в ненасыщенном состоянии, пористость мелко и среднезернистых песков практически не оказывает влияния на прямой волноприбойный поток. Сложенный мелкозернистым песком пляж ведет себя как непроницаемый пласт. В среднезернистых песках потери воды незначительны и влияние пористости заметно сказывается лишь на величине обратного волноприбойного потока. Таким образом, с увеличением размеров зерен песка и, соответственно, проницаемости отложений, в транспортировке пляжевого материала очевидна следующая тенденция: при нагоне приливной волны на сухой пляж волноприбойный поток стремиться отложить больше песка, чем смывает.

Аналитические решения А.Р. Пэквуда [138] и ряда других авторов по существу работают только на пляжах сложенных среднезернистым песчаным материалом. Между тем, влияние одиночной волны на пляжах сложенных крупнозернистым и гравелисто-галечным материалом проявляется более контрастно. Это подтвердили наши экспериментальные работы на побережье острова Сахалин (залив Терпения, п. Лермонтово). Ширина пляжа здесь составляет 30–0 м, $K\phi$ пляжевых отложений 0,8–,15 см/с, а высота сигизийных приливов достигает двух метров. При штормовых нагонах, сопровождающих приливы, уровень моря поднимается до трех и более метров. Разгрузка подземных вод оказывает влияние на транспортировку пляжевого материала лишь в начале прилива. При максимуме прилива происходит резкое переформирование пляжа с выбросом галечного материала в зону заплеска. При отливе наблюдается пляж с полосами четко разделенных песчаных и галечных отложений. Изменение отметок пляжа достигает 0,5–,8 м (по данным нивелирования).

Приведенный пример относится к побережьям открытого типа, где наблюдения за прохождением одиночной волны осложняются нагонами и наложением высокочастотных волновых спектров –ве-

тровыми волнами. В условиях закрытых бухт и заливов эта «помеха» частично или полностью снимается. Для фазы отлива расход

90 Гидрогеология прибрежной зоны

морских вод поступающих из насыщенных морской водой пляжевых отложений за время t можно оценить по известному выражению Боултона:

$$(8.4)$$

где Q_0 – расход, поступающий в единичный элемент потока за счет водоотдачи, μ – коэффициент запаздывания ($1/c$), $\frac{ds}{dt}$ – интенсивность снижения отметок свободной поверхности (зеркала) грунтовых вод.

Предельное время водоотдачи для песков составляет приблизительно одни сутки. Промытость и хорошая сортировка пляжевых отложений позволяет уменьшить эту величину в 1,5–3,0 раза при расчете полусуточных приливов.

Реакция грунтовых вод на изменение уровня моря и волнение определяет кинетику газов в зоне аэрации. Расход газа (Qg) за время t , генерированный поршневым эффектом с единицы площади (F) будет зависеть от ряда параметров:

$$(8.5)$$

где Δz – интервал изменения уровня подземных вод, $K_{гг}$ – коэффициент газовой проницаемости. Последний связан с расходом следующим соотношением:

$$(8.6)$$

где $P(t)$ – перепад давления, ν – вязкость газа, Qg – приведенный расход газа, P_0 – барометрическое давление.

Рассматривая влияние гидрогеологических факторов на динамику пляжевых отложения, нельзя не упомянуть об образовании бич-рока и эвапоритов.

Бич-рок (*beach-rock*) – довольно распространенное явление на пляжах тропических и субтропических морей. Происхождение его

Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 91

обусловлено физическими и гидрохимическими процессами, происходящими в толще пляжевых отложений и вызывающими их цементацию отложениями кальцита, арагонита, реже окислами железа. К физическим процессам можно отнести капиллярное испарение морской и грунтовых вод, дегазацию грунтовых вод. К гидрохимическим – нарушение карбонатного равновесия при смешении

морских и подземных вод с изменением их температуры. Выпадение карбонатов из раствора происходит по схеме, аналогичной образованию травертин:



Для Средиземного моря процесс перехода бикарбонатов в карбонаты активизируется при температуре выше двадцати градусов и pH больше восьми [118].

Генерации бич-рока существенно, а иногда и кардинально влияют на динамику пляжевых отложений. В качестве примера можно привести данные, полученные на пляжах Сейшельских островов (архипелаг из 84 островов в Индийском океане) Е.Н. Бадюковой и А.А.Свиточ [6]. Авторы выделяют здесь три стадии развития бич – рока: молодую, зрелую и старую (рис. 8.4.). В соответствии с эти-

ми стадиями, консолидированные песчаники, вначале перекрытые маломощными слоями песка, выводятся на дневную поверхность в результате размыва пляжевых отложений. Затем наблюдается отступление пляжа, чему способствуют сцементированные отложения, препятствующие поступлению материала из зоны осушки и сублиторали. Под приливной или ветровой осушкой подразумевается полоса дна, осушаемая в фазе отлива или во время сгона и развивающаяся вследствие этого как пляж под воздействием не только морских, но и субаэральных факторов. На последней стадии, разрушенные абразией во время тропических циклонов отдельные плиты и блоки песчаника перезахороняются, а сам бич-рок смещается, не совпадает с современной конфигурацией береговой линии.

В механизме образования цемента бич-рока Сейшельских островов в равной мере принимают участие физические и гидрохимические процессы. Об этом свидетельствует состав цемента, представленный кальцитом, магниальным кальцитом и арагонитом. Темпы выпадения карбонатов из раствора, вероятно, определяются ре-

92 Гидрогеология прибрежной зоны

жимом разгрузки подземных вод в пляжевой зоне, а процессы испарения контролируются поступлением магния из морской воды. Причем процессы эти должны идти попеременно, так как магний присутствующий в морской воде препятствует осаждению кальция. Постоянное действие физических и гидрохимических процессов способствуют быстрому росту бич-рока. Известны случаи образования бич-рока в течение двух лет [126]. Возраст бич-рока Сей-

шельских островов оценивается в 0,5–2,0 тысячи лет.

Разгрузка соленых и солоноватых подземных вод в тропиках и сухих субтропиках, в том числе на пляжах, приводит к образованию современных эвапоритов. На южном побережье Синайского полуострова в разрезе пляжевых отложений выделяются: в верхней части эвапориты мощностью 0,3 м, ниже встречаются кальцит, магниальный кальцит, арагонит, затем еще ниже – ангидрит и гипс, а в слое 15–0 см над зеркалом грунтовых вод – галит [127]. Эта зо-

Рис 8.4. Стадии развития бич-рока [6]:

I – молодая, II – зрелая, III – старая;

П – уровень прилива, О – уровень отлива.

Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов... 93

нальность, по мнению автора, отражает фазы процесса испарения, когда грунтовые воды поднимаются вверх под действием «подкачки выпариванием». Интенсивность осаждения солей зависит от сезонных колебаний температуры и режима уровня грунтовых вод.

В заключение отметим: изучению пляжевых отложений возможно и не уделялось бы столь большого внимания, если бы не их роль в формировании современного облика морских побережий. Не будь пляжей, морские волны размыли бы огромные территории, на которых проживают десятки и сотни миллионов людей. В устойчивости пляжей к эрозии существенное значение имеет субмаринная разгрузка подземных вод.

Глава 9.

СУМАРИН АЯР АЗ ГР УЗ КА ВК ОН УС АХВ ЫН ОС А Р ЕК

Расположенные под уровнем моря конуса выноса рек являются конечным пунктом подруслового стока и областью субмаринной разгрузки аллювиальных потоков. Масштабы разгрузки зависят от величины реки, глубины эрозионного вреза и фильтрационных свойств заполняющего врез аллювия. У рек образующих эстуарии, конуса выноса практически не выражены или выражены очень слабо, поскольку большая часть твердого стока осаждается в эстуарии. Проксимальные части конусов выноса ряда крупных рек, таких как Волга, Дунай, Миссисипи сопряжены с дельтами, длина которых измеряется сотнями километров. Например, дельта Нила простирается от Каира до Средиземного моря на более чем двести километров, а площадь составляет 22 тыс. км². Поток пресных аллювиальных вод только на отрезке 40 км около Каира оценивается при-

мерно в 30 тыс. метров кубических в секунду [142]. Самая многоводная река мира –Амазонка (среднегодовой расход 175 тыс. м³/с, площадь дельты 100 тыс. км²) образует конус выноса, простирающийся более, чем на триста миль в Атлантический океан. Судя по ряду признаков (изменение рН и Eh осадков), даже на таком удалении от устья возможна разгрузка подрусловых вод [90].

Акватория моря, расположенная над конусами выноса, представляет собой область смешения речных, морских и подземных вод. В области транзита речной струи, прослеживающейся в море, под действием волновых и дрейфовых течений создаются специфические гидродинамические и гидрохимические условия (так называемые барьеры). По всей площади конусов выноса наблюдается интенсивное перемещение наносов, поток которых формируется твердым стоком реки. Перечисленные и другие особенности позволяют выделить конуса выноса в прибрежной зоне как отдельный объект исследований в той их части, которая находится в пределах прибрежной зоны. Попутно отметим практическое значение изучения объекта, связанное с проблемами водоснабжения. Напри-

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 95

мер, большинство населенных пунктов северного Кавказа, в том числе г. Сочи, пользуются водозаборными сооружениями, обустроенными в аллювии местных рек. Проблемы водоснабжения существуют в дельте Дуная и для ряда городов северного Причерноморья. Рассмотрим выделенный нами объект на примере некоторых рек Кавказа и Крыма.

Все реки, впадающие в Черное море, имеют переуглубленные долины, происхождение которых связано с плейстоценовой регрессией и последующей за ней позднеплейстоценово-голоценовой трансгрессией. Изменение базиса эрозии способствовало образованию мощных конусов выноса, прослеживающихся на глубину до 100 м, а для крупных рек, таких, как Дунай, значительно глубже. По данным сейсморазведки мощность отложений в конусе выноса реки Мзымта достигает 900 м, р.Шахе –600 м [3]. Колебания уровня Черного моря в плейстоцен-голоцене и даже в антропогене имело весьма сложный характер. На фоне общей тенденции наблюдались многочисленные его понижения и повышения. Самым глубоким минимумом можно считать фазу Чаудинской регрессии, когда уровень моря по данным ряда авторов достигал отметки $-10 \div -20$ м [23, 24, 70

и др.]. В дальнейшем, в периоды посткарангатской, новозвксинской и других регрессий, положение отметки уровня отличалось от современного на $-0 \div -00$ м. В эти периоды значительные участки шельфа и вся прибрежная зона представляли собой сушу с развитой системой речных палеодолин. Такие крупные реки как Палеодон и Палеокубань впадали непосредственно в Черное море. Мощные толщи древнеаллювиальных отложений с высокими фильтрационными свойствами встречаются в северной части Черного моря в палеодолинах рек Днестра (гравийно-галечные и крупнозернистые пески), Днепра (преимущественно песчаные отложения, выраженные в том числе Одесской банкой), Каланчака (песчаные отложения в Каркинитском заливе) и др. Пресные воды этих отложений вскрыты многочисленными скважинами, причем запасы их весьма велики [21, 24, 25].

Геолого-гидрогеологические условия субмаринной разгрузки в приустьевых частях переуглубленных долин и конусов выноса отличаются многообразием, вследствие особенностей формирования и резкой неоднородности фильтрационных свойств аллювиальных от-

96 Гидрогеология прибрежной зоны

ложений. Для речных долин северного Кавказа они были типизированы с выделением внутри Причерноморского района трех подрайонов: Ашейского, Пшадского и Цемесского [87]. Обобщенные характеристики подрайонов приведены в таблице 9.1 и рисунках 9.1 – 3.

Предлагаемые авторами приемы типизации можно использовать и для других участков побережья Черного моря.

При изучении предустьевых взморий достаточно много внимания уделялось процессам формирования конусов выноса, динамике водных масс, темпам и характеру осаждения речных наносов, устойчивости масс грунта в пределах конусов выноса и другим [29, 67, 74, 83 и др.]. Общей закономерностью для рек северного Кавказа, учитывая особенности гидрологического режима, является высокая динамичность накопления твердого материала в конусах выноса во время паводков и столь же интенсивная его переработка во время штормов. При этом штормовая переработка сопровождается размывом верхней части конусов выноса с вовлечением песчано-галечного материала во вдольбереговую транспорт наносов. Рассмотрим некоторые из упомянутых особенностей на примере р. Псезуапсе (п. Лазаревское).

О масштабах накопления и размыва верхней части конуса выно-

са р. Псеуапсе можно судить по изменениям отметок дна, зафиксированных эхолотными промерами в разные годы (рис. 9.4). Штрихпунктирная линия на верхнем графике показывает профиль равновесия, выработанный волнением во время полного пересыхания реки в летнюю межень 1979 г. Размыв при сильном шторме сопровождается изменением литологической обстановки в верхней части разреза по всей площади конуса выноса и, соответственно, изменением фильтрационных свойств грунтов, включая пляжевые отложения (рис. 9.5). Изучение фильтрационных свойств грунтов проводилось тремя способами (табл. 9.2). Первые два дают представление о проницаемости современных отложений, слагающих верхнюю трехметровую часть разреза, последний – общую 50-метровую толщу древних аллювиальных отложений.

Анализ полученных материалов, включая математическое моделирование (метод главных компонент, факторный анализ), позволил сделать ряд выводов:

1. Литологические ситуации в цикле шторм-штиль однотипны. На площади конуса выноса наблюдается закономерное уменьшение

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 97

Таблица 9.1

Геологическая характеристика Приморскогорайонасев
ерногорская (по материалам А.В. Островского и Н.М. Зайцева [70]).

Район Реки Геолого-литологическая

характеристика

Гидрохимическая

характеристика

Ашейский

Аше,

Псеуапсе,

Шахе, Сочи,

Мзымта, Псоу

Валунно-галечные отложения с
песчаным заполнителем.

В прибрежной части прослой ин-
грессионных морских песков и лин-
зы лиманных глин мощностью до-
100 м.

Подземные воды пресные и

ультрапресные.

Пшадский

Бзыбь, Пшада,

Шепсуга, Не-

чепсуга, Джуг-

ба, Вулан, Ту-

апсе

Валунно-галечные отложения с песчаным заполнителем. В приустьевых участках с 2- прослоями лиманных глин. Мощность до 60 м.

Подземные воды пресные и ультрапресные. Между глинистыми прослоями повышенное содержание Fe, H₂S биогенного происхождения.

Цемесский

Цемеса,

Озерая, Сук-

койка

В разрезе преобладают пойменно-лиманные глины с прослоями и линзами морских песков и аллювиальных валунно-галечных отложений.

Подземные воды пресные и ультрапресные. В водоносных прослоях часто повышенное содержание Fe, H₂S биогенного происхождения.

98 Гидрогеология прибрежной зоны

Продолжение таблицы 9.1

Район Реки Гидродинамическая характеристика

Линейные модули

эксплуатационных

ресурсов, тыс. м³/сут. на

1 км

Ашейский Аше,

Псезуапсе,

Шахе, Сочи,

Мзымта, Псоу

Безнапорный режим с совершенной связью с рекой. до 30

Пшадский Бзыбь, Пшада,

Шепсуга, Не-

чепсуга, Джуг-

ба, Вулан, Ту-

апсе

Напорно-безнапорный режим с локальной гидравлической связью по гидрогеологическим окнам с поверхностными водами.

5–0

Цемесский Цемеса,

Озеря, Сук-

койка

Субнапорный режим с затрудненной связью с рекой. В приустьевых участках в результате подпора подземных вод морем, уровни повышаются с глубиной. Разгрузка подземных вод субмаринная.

10

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 99

Рис 9.1. Принципиальный геолого-гидрогеологический разрез речных долин в Ашейском подрайоне на Черноморском побережье Кавказа (по А.Б. Островскому и Н.М. Зайцеву [70]).

1 –аллювиальные валунно-галечные отложения; 2 –аллювиальные песчано-глинистые отложения; 3 –морские пески с фауной; 4 –дочетвертичные отложения; 5 –участок перехода поверхностного стока в подземный; 6 –участок перехода подземного стока в поверхностный; 7 –линии тока; 8 –уровень подземных вод; 9 –распределение напоров подземных вод с глубиной; 10 –источники.

фракций от уреза в сторону моря с резкими границами перехода. С уменьшением размеров фракций также закономерно происходит ухудшение фильтрационных свойств грунтов.

2. Заполнитель валунно-галечных отложений в приурезовой ча-

сти конуса выноса резко неоднороден по составу и фильтрационным свойствам. Вследствие неоднородности в конусе выноса формируются «каналы стока» (действительная скорость движения подземных вод для заполнителя валунно-галечного пространства составила порядка 2 тыс. м/сут).

100 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 9.2. Принципиальный геолого-гидрогеологический разрез речных долин в Пшадском подрайоне на Черноморском побережье Кавказа (по А.Б. Островскому и Н.М. Зайцеву [70]).

1 –аллювиальные валунно-галечные отложения; 2 –аллювиальные песчано-глинистые отложения; 3 –морские пески с фауной; 4 –дочетвертичные отложения; 5 –участок перехода поверхностного стока в подземный; 6 –участок перехода подземного стока в поверхностный; 7 –линии тока; 8 –уровень подземных вод; 9 –распределение напоров подземных вод с глубиной; 10 –источники.

3. Местоположение каналов стока меняется после каждого крупного шторма, сдвигаясь по урезу на 50 –150 м.

В разрезе аллювиальных отложений, слагающих конус выноса, выделяются два водоносных слоя, разделенных водоупором, выклинивающимся в 300 –350 м от уреза. Наличие водоупорного слоя позволяет рассматривать субмаринную разгрузку каждого из них отдельно, независимо друг от друга (Рис.9.6).

Разгрузка подземных вод верхнего слоя осуществляется двумя способами: по «каналам стока» в виде сосредоточенных выходов на дне и перетеканием. Расстояние от уреза, на котором можно ожидать проявление разгрузки (X_0) определим по модели Гловера [36]:

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 101

, (9.1)

где Q –расход пресных вод на единицу ширины берега, γ_m –превышение удельного веса морской воды над пресной (γ_n), K_ϕ –коэффициент фильтрации.

При K_ϕ равном 107 м/сут, мощности водоносного горизонта 10 м и уклоном аллювиального потока 0.019, искомая величина составляет 6,6 м.

Рис 9.3. Принципиальный геолого-гидрогеологический разрез речных долин в Цемесском подрайоне на Черноморском побережье Кавказа (по А.Б. Островскому и Н.М. Зайцеву [70]).

1 –аллювиальные валунно-галечные отложения; 2 –аллювиальные песчано-глинистые отложения; 3 –морские пески с фауной; 4 –дочетвертичные отложе-

ния; 5 –участок перехода поверхностного стока в подземный; 6 –участок перехода подземного стока в поверхностный; 7 –линии тока; 8 –уровень подземных вод; 9 –распределение напоров подземных вод с глубиной; 10 –источники.

102 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 9.4. Современные профили поверхности дна в пределах конуса выноса р. Псезуапсе.

1 –начало паводка; 2 –конец паводка.

Таким образом, проявление субмаринной разгрузки можно ожидать только в узкой приурезовой полосе. Учитывая существенные допущения принятые в модели Гловера, будем ориентироваться лишь на порядок величины X_0 .

Детальные работы на площади конуса выноса (съемки температуры и электропроводности воды в поверхностном и придонном слое, повторные грунтовые съемки, сопровождаемые эхолотным про-

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 103

Рис 9.5. Изменение литологической ситуации на предустьевом участке реки: а) грунтовая съемка после длительного штиля; б) грунтовая съемка после шторма.

1 –валунные отложения; 2 –галечники; 3 –крупнозернистые пески; 4 – мелкозернистые пески; 5 –супеси; 6 –супеси пылеватые; 7 –суглинки пылеватые; 8 –граница слабоуплотненных отложений; 9 –линия берега; 10 –шурфы; 11 –участки резкого изменения фильтрационных свойств пляжевых отложений; 12 –участки повышенной проницаемости в виде хорошо промытых «каналов»; 13 –места обнаружения индикаторов после запусков.

104 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 9.2

Ф и л ь т р а ц и о н н ы е с в о й с т в а г р у н т о в к о н у с а в ы н о с а р П с е з у а п с е Способ определения

Количество

определений

Состав грунта Пределы изменения $Kф$ (м/сут)

(действительной скорости)

1. При грунтовых

съемках (прибор.

СПЕЦГЕО, КФП) 304

Заполнитель валунно-галечниковых отложений

Пески

Супеси

Пески крупно- и разнозер-

нистые

Пески мелкие, пылеватые

Супеси

Супеси пылеватые

60 –99

10 –49

20 –80

4 –12

2 –9

0,1 –1,5

2. Запуски индикаторов (определение действительной скорости)

12 гравелистые, галечные 440 –2160

3. Откачки из одиночных скважин 2 переслаивание песков, супесей, суглинков 107 –489

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 105

ром, литодинамические наблюдения, определение фильтрационных свойств грунтов) показали, что проявления субмаринной разгрузки наблюдается в одном –полтора десятках метров от уреза, что в принципе соответствует модели Гловера. На рисунке 9.7. показаны результаты температурной съемки конуса выноса, где пунктиром выделена область субмаринной разгрузки. Величина разгрузки, рассчитанная по методу теплового баланса, составила 0,190 0,047 мз/сек и 0,229 0,057 мз/сек для разных лет. Приведенные величины характеризуют лишь часть разгрузки, приуроченной к зонам повышенной проницаемости (каналам стока), то есть, условно активную разгрузку. В общем стоке подземных вод на площади конуса выноса она со-

Рис 9.6. Разрез аллювиальных отложений конуса выноса р. Псезуапсе.

1 –положение уровня грунтовых вод; 2 –направление движения подземных вод; 3 –область субмаринной разгрузки; 4 –галечно-гравелистые отложения; 5 –глины; 6 –водоупорное основание (коренные породы).

106 Гидрогеология прибрежной зоны

ставляет 25–0% верхнего водоносного слоя аллювиальных отложений (для разных лет).

Разгрузка второго, слабонапорного слоя (+1,22м над поверхностью пляжевых отложений в устье р. Псезуапсе) экранируется десятиметровой толщей водоупора, а в местах его выклинивания – слабопроницаемыми донными отложениями, перекрывающими водонесный слой. В механизме разгрузки основную роль играют диффузионно-осмотические процессы. Представим скорость осмотической фильтрации в виде выражений:

Рис 9.7. Результаты температурной съемки: А) в поверхностном слое моря; Б) в придонном слое моря.
1 – линия берега; 2 – изотерма; 3 – наблюдательная скважина; 4 – шурф; 5 – точка наблюдений температуры; 6 – выделение расчетного контура аномалии.

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 107

где K_o – коэффициент осмотической фильтрации, K_ϕ – коэффициент гравитационной фильтрации, ρ – объемный вес раствора, R – газовая постоянная (82060 см²/моль.град), T – абсолютная температура, σ – изотонический коэффициент по Вант-Гоффу, ν – число ионов, образующихся при полной диссоциации молекул электролита, F_0 – осмотический коэффициент учитывающий взаимодействие ионов в растворе и характеризующий способность породы препятствовать диффузии солей. При $\phi = 0,5$ – среда полупроницаема, при $\phi = 0$ грунт полностью лишен полупроницаемых свойств [71].

, (9.2)

, (9.3)

Плотность потока диффузии рассчитаем по выражению:

, (9.4)

, (9.4)

где n_e – эффективная пористость, D_s – коэффициент самодиффузии, ∇c – градиент концентрации, z – мощность слоя диффузии.

Величина градиента концентрации при минерализации подземных вод 0,3 г/л, морской воды 18 г/л и мощности слоя диффузии в 1м, будет составлять $17,7 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Пористость глинистых и суглинистых водоупоров находится в пределах 0,4 – 0,6, а плотность потока диффузии $110 \cdot 10^{-6}$ и $165 \cdot 10^{-6}$ м³/сут. На площади конуса выноса в один квадратный километр $110 - 165$ м³/сут. Используя данные буровых скважин на берегу и формулу Дарси, рассчитаем $Q = k \cdot i \cdot h = 389 \cdot 0,02 \cdot 20 = 155,6$ м³/сут.

Как уже отмечалось, прямые измерения субмаринной разгрузки являются дорогостоящими и трудоемкими. Поэтому, среди рек северного побережья Кавказа, кроме Псезуапсе, удалось прямыми методами определить разгрузку лишь в конусе выноса р. Жове-Ква-
108 Гидрогеология прибрежной зоны

ра (рис.9.8). Она составила $1,19 \pm 0,36$ м³/сут. При возможном подпитывании конуса выноса карстовыми водами, эта величина представляется вполне реальной.

Распределенную субмаринную разгрузку можно наблюдать в ряде конусов выноса рек горного Крыма. Глубина эрозионного вреза переуглубленных долин здесь несколько меньше, чем на Кавказе, и составляет 30–0 м. Соответственно, меньше мощности аллю-

Рис 9.8. Результаты наблюдений в районе конуса выноса р. Жове-Квара.

А. Относительная электропроводность воды. Б. Изотермы и концентрации иона HCO_3

-мг/л (пунктир) в придонном слое.

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 109

виальных отложений и размеры конусов выноса. На предустьевых участках рек юго-западного Крыма буровыми скважинами в аллювии вскрыты по два–три водоносных слоя. Мощность их в долине р. Арпат составляет 7,1 и 7,5 м, в долинах рек Улу-Узень, Шелен, Ворон, Таракташ мощность обводненных аллювиальных отложений изменяется в пределах 1,7–3,9 м, по другим данным –от 0.5 до 16,0 м. Коэффициенты фильтрации составляют 10–5 м/сут. Воды слабо-напорные, гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией до 1 г/дм³. Конуса выноса характеризуются анизотропной фильтрационной структурой с выраженными каналами стока и участками разгрузки перетеканием. Функционирование очагов разгрузки ограничивается приурезовой полосой до 20–5 м. Местоположение очагов меняется от шторма к шторму, смещаясь вместе с дериватами русла на расстояние до 30–0 м. Минерализация поровых вод в очагах, представляющих по существу зону дисперсии, изменяется в широких пределах от 1,9 г/дм³ (р. Ворон) до 15,3 г/дм³ (р. Ускут) при фоновой минерализации морской воды 19,1 г/дм³. В очагах разгрузки обращает на себя внимание повышенное содержание в поровых водах двух- и трехвалентного железа –до 0,276 мг/дм³, бора – до 3,48 мг/дм³ и брома –до 87,3 мг/дм³, с соответственным повышением величины Eh и понижением Ph. Вертикальный градиент изме-

нения величины минерализации в зоне дисперсии составляет: для р. Ускут –0,048 г/дм³ на метр, р. Судак –0,067 г/дм³ на метр. Количественная оценка величины субмаринной разгрузки выполнялась двумя способами: по уравнениям Дарси и плотности потока диффузии. В период межени в конусах выноса рек Ворон, Ускут и Алачук площади субмаринной разгрузки составляли 600, 250 и 225 м², а расход аллювиальных вод –108, 270 и 83,4 м³/сут соответственно. Очевидно, что приведенные величины отражают ситуационные параметры, которые в условиях активного переформирования конусов выноса штормовым волнением могут изменяться в широком диапазоне [112]. Условия формирования подземного стока для рек юго-восточного Крыма приведены в таблице 9.3.

В северо-западной части Черного моря пресные подземные воды вскрыты буровыми скважинами на предустьевых взморьях таких крупных рек, как Днепр, Днестр, Дунай. В конусе выноса последнего масштабы субмаринной разгрузки должны быть особенно ве-

110 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 9.3

Е ди ни чн ыер ас хо дыа лл юв иа ль ны х в одр екю гов ос то чн ог о
К ры ма Река Уклон K_f (м/сут)

Мощность

водоносного

слоя (м)

Единичный

расход

(м³/сут)

Улу-Узень

0,0155

0,0160

0,0140

39,3 – 53,1 0,5 –6,57

0,4–,6

0,4–,4

0,1–,0

Демерджи

0,0223

0,0237

0,0241

4,8 –6,8 0,5 –2,7

0,5 –5,0

0,6 –14,2

0,37–,2

0,05 –1,6

1,7–,2

Судак 0,0240 4,2 0,2 0,16

Кутлак 0,001 5,7 0,4 –3,5 0,0004–,0035

лики [76]. К сожалению, детальные работы по ее изучению до сих пор не проведены.

Сформулируем общие закономерности разгрузки аллювиальных вод в конусах выноса черноморских рек.

1. Отложения, слагающие конуса выноса, характеризуются, как правило, ярко выраженной неоднородностью фильтрационных свойств, которые, в свою очередь, определяются процессами выноса, накопления и условиями сортировки твердого стока рек.
2. Верхняя часть конусов выноса в пределах прибрежной зоны испытывает постоянное переформирование, обусловленное гидродинамикой морских вод и характером поступления твердого стока. Современные наносы могут играть роль «клапанного механизма», перекрывая участки активной фильтрации слабопроницаемыми слоями. Перекрытие меняет тип разгрузки: из активной, сосредоточенной она превращается в разгрузку перетеканием.
3. По отношению ко всей площади конуса выноса, интенсивность разгрузки определяется мощностью подруслового потока, величина которого в свою очередь зависит от глубины эрозионного вреза долины, водообильности дренируемых горизонтов и проницаемости аллювиальных отложений.

Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек 111

4. В конусах выноса, имеющих в своём разрезе слабопроницаемые слои значительной мощности, существенную роль в механизме разгрузки играют диффузионно-осмотические процессы.
5. Прямые методы оценки разгрузки в сочетании с расчетными методами, позволяют более обоснованно оценить величину подруслового стока.

Глава 10.

МИГРАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ИХ

Разрывные нарушения могут являться барражами, препятствующими миграции флюидов и зонами повышенной проницаемости. В условиях повышенной проницаемости флюиды мигрируют вверх, образуя на поверхности дна и в современных донных осадках гидро- и геохимические аномалии. По составу аномальных компонент можно судить о глубинности разрыва, по конфигурации и расположению аномалий трассировать разрывы как в акваториях, так и на суше. Продемонстрируем возможности обнаружения и трассирования разрывных нарушений газо-геохимическими методами на конкретных примерах.

Тарханкутский полуостров

На структурной карте, построенной по данным бурения и сейсморазведочных работ (МОВ, ОГТ) приведенной в работе Ю.В.Казанцева [45], выделяются многочисленные складчатые и разрывные дислокации (рис.10.1). Линейные дислокации, представленные в основном надвигами, имеют южное падение и пересекают прибрежную зону в субширотном направлении. Образование их произошло в кайнозое, в том числе в последний период тектонической активизации, то есть в неоген-четвертичное время [103]. В акватории Каркинитского залива принадлежательные складки Юбилейная, Одесская, Шмидта и другие на Голицинском поднятии образовали ловушки углеводородов с продуктивными горизонтами палеоген-нижнемелового возраста. Более молодые породы, перекрывающие эти отложения подверглись «торошению» с образованием субмеридиональных трещин и диаклазов.

В морфологическом плане северо-западное побережье полуострова Тарханкут имеет расчлененный рельеф с многочисленными балками и котловинами меридианального простирания. На побережье ряд балок заканчивается небольшими бухтами с характерным очертанием берегов. Системность их расположения позволяет предположить не только эрозионную, но и тектоническую природу их образования по

Глава 10. Миграция флюидов... 113

участкам наибольшего торошения известняков сарматского возраста (N_{1s}). Наряду с ними существуют балки субширотного простирания, которые можно связывать с надвигами, выделенными на карте Ю.В.Казанцева. В пользу такого выделения свидетельствует характер трещиноватости и положение ослабленных прокарстованных зон. Данные проведенных нами съемок трещиноватости показыва-

ют закономерное уменьшение числа крупных вертикальных трещин по мере удаления от осевой линии балок и бухт.

Фильтрационные свойства сарматских известняков характеризуются значительной неоднородностью. По данным откачек и рас-

Рис 10.1. Структурная схема поверхности горизонта А-21 альбского яруса нижнего мела Тарханкутского полуострова (по Ю.В.Казанцеву [45]).

Бухты: 1. Очеретай, 2. Кипчак, 3. Карамыш, 4. Сторожевая, 5. Атлеш.

Структуры: ГП –Галицинское поднятие, ПШ–поднятия Шмидта, МП –меловое поднятие.

а –выявленные разрывные нарушения; б –предполагаемые; в –участки проведения работ в прибрежной зоне.

114 Гидрогеология прибрежной зоны

четов гидрогеологических параметров эксплуатационных скважин, в крупных балках полуострова Тарханкут коэффициенты водопроницаемости достигают 11320 –50000 м²/сут, снижаясь на водоразделах и склонах до 124 –1930 м²/сут. Соответственно и коэффициенты фильтрации изменяются от 0,29 и менее до 228 м/сут [73].

В условиях активизации тектонических процессов зоны нарушений служат каналами миграции газов и подземных вод в верхние структурные этажи палеогена и неогена. Наблюдения в субэвральской части прибрежной зоны показали, что в подпочвенном воздухе днищ балок наблюдаются повышенные, по отношению к водоразделам, концентрации углекислого газа, метана, радона и гелия. Подводные маршруты выявили очаги спонтанно выделяющихся газов в бухтах пгт. Черноморское, Кипчак, Очеретай, Сторожевая. Наиболее активные выходы газа зафиксированы в карстовых воронках, расположенных в центральных частях двух последних из перечисленных бухт.

В бухте Очеретай интенсивное выделение газа наблюдается в северной части воронки, где в штилевую погоду в толще воды видна сплошная завеса поднимающихся со дна пузырьков. Периодически проводимые в течение четырех лет наблюдения показали, что субмаринные газовые источники (выходы спонтанного газа) функционируют в интермиттирующем режиме. Помимо постоянно выделяющихся струек газа с интервалами от получаса до нескольких суток, происходят его массовые выбросы, сопровождающиеся подъемом к поверхности моря большого количества ила, отмерших водорослей и сильным запахом сероводорода. В выходах газа в бухте

Сторожевая, расположенной на южном берегу полуострова, функционирование газовых грифонов более спокойное, без резкого увеличения и понижения дебита (рис. 10.2, 10.3).

В составе спонтанных газов выходящих на дне Тарханкутских бухт преобладает метан. Отмечено также присутствие тяжелых углеводородов, до П–пентана включительно (табл. 10.1, 10.2). Не исключено, что часть углеводородных газов может иметь биогенное происхождение, Поэтому, сравним его с составом газа отобранного из скважин Оленевской и Голицинской структур. В Оленевской структуре в нижнемеловом водоносном горизонте суммарное содержание тяжелых углеводородов 1,16–,72 объемных %, в дат-палеоце-

Глава 10. Миграция флюидов... 115

Рис 10.2. Результаты подводных исследований в бухте Сторожевая.

1 –береговая линия, 2 –пляжевые отложения, 3 –неконсолидированные отложения воронки, 4 –обнажения коренных пород, 5 –точки опробования, 6 –выходы спонтанного газа, 7 –уступы коренных пород на дне, 8 –контуры балки, 9 –абразионные уступы русла и клиф, 10 –береговой профиль измерений радона, 11 –базис, 12 –контур карстовой воронки, 13 –направление движения подземных вод.

116 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 10.3. Результаты подводных исследований в бухте Очеретай.

1 –неконсолидированные отложения воронки; 2 –пески; 3 –волноприбойные ниши; 4 –контур карстовой воронки; 5 и 6 –точки отбора газов; 7 –точки опробования воды и грунта; 8 –контур балки; 9 –направление движения подземных вод; 10 –реперная сеть; 11 –обнажения коренных пород; 12 –абразионные уступы русла и клиф; 13 –береговой профиль измерений радона; 14 – спонтанные выходы газа; 15 –береговая линия.

Глава 10. Миграция флюидов... 117

новом водоносном горизонте –4,0–2,0. Результаты химического анализа свободного и водорастворенного газа площади Голицына, любезно предоставленные авторам В.А. Куришко, приведены в таблице 10.3. Даже формальное сопоставление результатов анализов указывает на возможность поступления углеводородов в современные морские осадки из продуктивных горизонтов мела и дат-палеоцена, хотя наличие мощных толщ майкопских глин рассматривалось многими исследователями как надежный экран на пути миграции флюидов вверх по разрезу [21,.73]. Кроме формального сопоставления прокомментируем результаты собственных наблюдений:

1. Как видно из таблицы 10.1, тяжелые фракции углеводородов обнаружены не во всех пробах. Причины расхождения в результатах анализов на наш взгляд следующие. Поскольку выбросы

газа происходят в интермиттирующем режиме, то можно предположить, что газ вначале накапливается в карстовой полости, вытесняя воду и затем, после наполнения полости, прорывается в выводной канал, соединяющий полость с карстовой воронкой. При прорыве из поровых пространств, заполняющих воронку отложений, вытесняется биогенный газ и разубоживает глубинный. Вследствие разубоживания в пробах, отобранных во время выбросов, тяжелые углеводороды обнаруживаются только в виде следов.

2. Обратим внимание на результаты анализов под номерами 72/2 и 1/12. Эти пробы отобраны ловушками в траншее, прорытой для прокладки газопровода от Голицинского месторождения. Траншея глубиной от дна бухты 2,5 м пройдена до кровли и частично в кровле карбонатных отложений неогена. Газ в виде струек выходил из трещин известняков на дне траншеи, где было удобно устанавливать ловушки. Таким образом, биогенная составляющая в составе газа не присутствовала. В обеих пробах зафиксировано значительное содержание тяжелых углеводородов (1,5 %) и максимальное содержание углекислого газа (28,6 %). По химическому составу этот газ сходен с газом верхнемеловых отложений, вскрытых морскими скважинами, в котором сумма тяжелых углеводородов изменяется в пределах 0,5–3,0%. При этом не исключена возможность смешения флюидов нескольких продуктивных толщ, например верхнего мела и дат-палеоцена.

118 Гидрогеология прибрежной зоны

3. В современных осадках на дне бухт интенсивно протекают процессы диагенеза органического вещества. При скоплении органики в карстовых воронках создаются условия образования метана, углекислого газа и сероводорода. По мнению микробиологов, не менее 80 % метана в субаквальных условиях может образовываться вследствие реакции восстановления углекислоты водородом, протекающей при участии бактерий [89]. Другими авторами допускается возможность биохимического образования в современных осадках, насыщенных органикой, гомологов метана –этана и пропана [14, 68]. При смеси газов разного генезиса определить процентный состав каждого из них весьма затруднительно. В практике подобных определений чаще всего используются два приема: изотопный анализ и экспериментальные уста-

новки. В первом случае принято считать, что в составе метана над очагами образования нефти и газа характерно преобладание тяжелого изотопа углерода. К сожалению, изотопный анализ наших проб выполнить не удалось. Во втором случае производится экспериментальное изучение биохимических процессов преобразования морских осадков в лабораторных условиях. Здесь, кроме собственных опытов мы можем сослаться на работу, выполненную в лаборатории ВНИГРИ, в которой наблюдения за образцами прибрежно-морских и озерных осадков проводились в течение полутора лет [101]. Полностью совпадающие с нашими, результаты экспериментов показывают: в образованном газе в течение всего опыта преобладал метан (56,8–0,7%), содержание которого на период прекращения газообразования было минимальным. Тяжелые углеводороды были обнаружены только в виде следов и только в двух пробах. В наших же экспериментах тяжелые углеводороды не были обнаружены вообще.

Таким образом, наличие тяжелых углеводородов в спонтанных источниках газа на дне бухт Тарханкутского полуострова свидетельствует о глубинном происхождении газа. Это подтверждается и величиной отношения предельных углеводородов к непредельным, которое можно считать одним из главных генетических признаков оценки источника генерации [18]. Для бухты Очеретай и газа, отобранного из буровых скважин Голицынского поднятия, они составляют величины одного порядка.

Глава 10. Миграция флюидов... 119

Интересной особенностью ряда бухт Тарханкутского полуострова является сероводородное заражение поровых вод донных отложений и придонного слоя воды, вызывающее ассоциации с зараженностью сероводородом глубоководной части Черного моря. Поступление сероводорода может осуществляться в бухты вместе с разгрузкой подземных вод нижних структурных этажей, содержащих до 10 г/л этого газа. Приведем интересные данные полученные в ходе четвертого рейса НИС «Яков Гаккель» [34]. По данным наблюдений в глубоководной части моря соотношение ионов SO_4

$2-/Cl$ -ва-

ривировало от 0,1219 до 0,1419. На фоне в целом закономерного изменения компонентов, на отдельных станциях наблюдалось уменьшение соотношения SO_4

$^{2-}/Cl$ -с глубиной. Авторы считают, что такое уменьшение нельзя объяснить только активностью процессов сульфатредукции: «... так как количество сероводорода в глубинных водах не эквивалентно величинам уменьшения концентраций SO_4

$^{2-}$ -по вертикали, если принять что весь сероводород на этих горизонтах образуется за счет SO_4

$^{2-}$ ». Далее следует предположение о том, что уменьшение отношения SO_4

$^{2-}/Cl$ -можно объяснить субмаринной разгрузкой подземных вод.

Интересно отметить: общее количество сероводорода поступающее к поверхностным водам оценивается приблизительно в $3,0 \cdot 10^7$ т/год. Однако соотношение SO_4

$^{2-}/Cl$ -в пределах бухт заметно меньше и составляет в придонном слое 0,1068 – 0,1000. Обратить внимание на эти величины.

120 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 10.1

Результаты выбора химических анализов по танго азавтеОчретай (полустовТарханкут ивн иж ел еж ащ ихв од он ос ны х гор из он та х О ле не вс кой с тр ук ту ры(на с уше).

№ пробы Дата от-

бора

Место

отбора

Состав газа, об. %

метан этан пропан изобутан п-бутан изо-пентан п-пентан

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2/1 14.08.81 выброс 84,63 6,55 сл. ----- 3/1 14.08.81 выброс 75,95 0,24 сл. ----- 1/19

25.05.82 воронка 76,10 0,81 0,11 0,06 0,18 0,19 0,09

1/26 25.05.82 воронка 76,02 0,88 0,13 0,06 0,19 0,19 0,09

72/1 11.09.82 воронка 69,14 сл. 0,08 0,01 0,11 0,06 0,06

72/2 11.09.82 траншея 68,15 0,21 0,47 0,09 0,46 0,14 0,13

1/12 12.09.82 траншея 87,79 0,11 0,20 0,05 0,29 0,07 0,11

11 30.07.85 воронка 79,09 0,57 0,10 ----- 12 30.07.85 воронка 76,03 –сл. ----- 21 31.07.85

воронка 76,07 –сл. ----- 23 31.07.85 воронка 77,29 –сл. ----- 24 31.07.85 воронка 78,64

–сл. ----- 26 31.07.85 воронка 79,54 –сл. ----- Глава 10. Миграция флюидов... 121

Продолжение таблицы 10.1

№ пробы Дата от-

бора

Место
 отбора
 сумма Содержание воздуха
 по кислороду (об.%)
 Удельный вес
 т.у. у.в. Н газа по воздуху 2 Азот CO₂
 1 2 3 11 12 13 14 15 16 17
 2/1 14.08.81 выброс 6,55 91,18 --8,82 8,99 0,6729
 3/1 14.08.81 выброс 0,24 76,19 -22,93 0,88 7,10 06556
 1/19 25.05.82 воронка 1,44 77,54 -8,98 13,48 0,95 0,7329
 1/26 25.05.82 воронка 1,54 77,54 -9,03 13,43 0,95 0,7365
 72/1 11.09.82 воронка 0,32 69,14 сл. 3,78 27,08 1,42 0,8377
 72/2 11.09.82 траншея 1,50 69,65 сл. 1,99 28,36 0,47 0,8583
 1/12 12.09.82 траншея 0,83 88,62 -2,16 9,22 2,87 0,6648
 11 30.07.85 воронка 0,67 79,76 -2,47 17,77 2,84 0,6648
 12 30.07.85 воронка -76,03 -1,30 22,67 1,42 0,7806
 21 31.07.85 воронка -76,07 -1,17 22,76 0,95 0,7809
 23 31.07.85 воронка -77,29 -9,49 13,22 1,13 0,7223
 24 31.07.85 воронка -78,54 -12,27 9,19 0,61 0,6945
 26 31.07.85 воронка -79,54 -1,44 19,02 1,89 0,7456

122 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 10.2

Результаты химического анализа пометанного газа в устьях (полевых тровтарханкт.

№
 про-
 бы
 Дата от-
 бора Место отбора
 Компонентный состав газа, об.% Содержание
 воздуха по
 кислороду
 (об.%)
 Удельный
 вес газа по
 воздуху
 метан этан пропан сум-
 ма Азот CO₂
 т.у. у.в.
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

1(26) 16.08.85 нижняя часть
воронки 79,54 ---79,54 1,44 19,02 1,89 0,7456

2(23) 16.08.85 нижняя часть
воронки 77,29 сл. --77,29 9,49 13,22 1,13 0,7223

3(24) 16.08.85 центральная
часть воронки 78,54 ---78,54 12,27 9,19 0,61 0,6945

4(21) 16.08.85 центральная
часть воронки 76,07 сл. --76,07 1,17 22,76 0,95 0,7809

5(1) 21.08.85 центральная
часть воронки 79,17 0,57 2,47 3,04 82,21 -17,79 2,84 0,7407

6(2) 21.08.85 центральная
часть воронки 78,13 0,83 1,14 1,97 80,10 5,31 14,59 1,39 0,7201

7(3) 21.08.85 центральная
часть воронки 77,85 1,12 сл. 1,12 78,97 4,61 16,42 0,83 0,7312

8(4) 21.08.85 центральная
часть воронки 76,92 0,39 сл. 0,39 77,31 9,03 13,66 1,02 0,7219

Глава 10. Миграция флюидов... 123

Таблица 10.3

Результаты химического анализа проб отборных образцов азотсодержащих флюидов (по данным В.А. Куришко).

№

СКВ

Дата

отбора Интервал Индекс

возраста

Относ.

плотность по

воздуху

Глубина

отбора

Компонентный состав газа, об. %

СН₄ С₂Н₆ С₃Н₈ С₄Н₁₀ С₅Н₁₂

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

I 16.06.72 2995-3040 К₁ 0,9471 2925 0 0 0 0

I 17,07.72 2254-285 Р₁

1 0,6545 2245 82,78 4,89 1,37 0,72 0,16

I 13.08.72 2230-240 Р₂

1 0,6264 2218 87,37 3,73 1,23 0,53 0,0

I 31.08.72 935-022 Р₃

1 0,5663 920 97,48 0,11 0,0 0,0 0,0
 I 27.10.72 832–59 P
 3 0,5773 с устья 97,63 0,30 0,15 0,0 0,0
 I 14.10.72 682–59 P
 3 0,5588 с устья 99,28 0,15 0,10 0,0 0,0
 6 04.04.73 660–50 P
 3 0,5674 с устья 97,43 0,46 0,15 0,0 0,0
 6 16.04.73 638–46 P
 3 0,5589 634 99,29 0,11 0,0 0,0 0,0
 I 19.11.72 400–25 N1t 0,5591 385 99,52 --0,0 0,0
 6 04.01.73 369–90 N1t 0,5716 350 97,30 0,16 0,15 0,0 0,0

124 *Гидрогеология прибрежной зоны*

Продолжение таблицы 10.3

№ скв Дата отбора Интервал

Компонентный состав газа, об. %

Учтенный

сумма CO воздух 2 N₂ H₂

т.у. у.в.

1 2 3 12 13 14 15 16 17

I 16.06.72 2995–040 0,0 0,0 0,0 9,775 2,25 28,58
 I 17,07.72 2254–285 7,14 89,92 6,64 0,0 3,44 6,60
 I 13.08.72 2230–240 5,49 92,86 2,56 3,38 1,20 6,15
 I 31.08.72 935–022 0,11 97,59 0,22 2,19 0,0 9,93
 I 27.10.72 832–59 0,50 98,13 0,91 0,96 0,0 1,05
 I 14.10.72 682–59 0,25 99,53 0,10 0,37 0,0 0,95
 6 04.04.73 660–50 0,61 98,04 0,20 1,76 0,0 2,37
 6 16.04.73 638–46 0,11 99,40 0,22 0,38 0,0 8,04
 I 19.11.72 400–25 –99,52 0,48 0,0 0,0 17,50
 6 04.01.73 369–90 0,21 97,51 0,95 1,54 0,0 5,68

Глава 10. Миграция флюидов... 125

В иловых водах бухты Очеретай концентрации сероводорода достигают 179,1 мг/л, в бухте Сторожевая 58,1 мг/л. В зависимости от рН среды, растворенный в воде сероводород находится в равновесии с гидросульфидными или сульфидными ионами. При рН Н₂О меньше 7, основной формой содержания его в воде является Н₂С, а при рН больше 7 – в растворе доминирует НС⁻. В придонном слое бухты Очеретай максимальная концентрация сероводорода достигала 102 мг/л (на порядок больше, чем в глубинных водах Черно-

го моря). Значение pH по сравнению с фоновым было понижено на 0,6 единицы, значения Eh составляли –200 и менее мВ.

В обобщенном виде феномен тарханкутских бухт можно описать следующим образом. В рыхлых отложениях, заполняющих воронки, происходят сложные химические и микробиологические процессы, приводящие к образованию сероводородного заражения. Основной причиной образования сероводорода является процесс восстановления сульфатов десульфатирующими (сульфатредуцирующими) бактериями, о чем свидетельствует уменьшение концентраций сульфат-иона в иловых водах и в придонном слое от 1433,7 до 125,1 мг/л. Процесс усиливается поступающими из глубоких горизонтов углеводородами и деструкцией органики аэробными бактериями. Основные процессы должны идти по схеме:

SO_4



-,



Причины возникновения относительного дефицита иона SO_4

$2-$ интересуют не только гидрогеологов, но и океанологов. Вернемся к цитируемой выше работе А.В.Даниленко и А.И.Рябина [34], предположивших, что причиной его может быть наличие на дне Черного моря очагов субмаринной разгрузки бессульфатных подземных вод. По их мнению, такая разгрузка должна составлять не менее 130 км³/год, при условии, что вода практически не содержит ионов SO_4

$2-$. Для глубоководных частей Черного моря это предположение достаточно фантастично, если учесть мощность слабопроницаемых осадков в абиссали. Несколько иначе выглядят факты для прибрежной зоны и шельфа. Подземные воды, вскрытые буровыми скважинами на Голицинском поднятии действительно имеют низкое содержание сульфат-иона [73]. В процессе углубления скважины №1 Голицино тип воды изменялся от хлормагниевого до гидрокарбонат-натриевого, содержание сульфатов от 157,2 до 577,7 мг/л.

Таким образом, проявление субмаринной разгрузки глубоких водоносных горизонтов по тектоническим нарушениям в бухтах Тарханкута можно рассматривать как природную модель гидрогеохи-

мических процессов всего Черного моря.

Резкие сдвиги окислительно-восстановительного барьера в придонных слоях, а также в иловых водах тарханкутских бухт несомненно влияют на карбонатное равновесие. О поведении карбонатных ионов в этой обстановке можно судить по таблице 10.4.

Таблица 10.4

Содержание карбонатов в бухтах Тарханкутского полуострова (по 29 анал. за м).

Место отбора

проб CO₂

Интервал содержания компонентов (мг/л)

CO₃

-HCO₃

-Ca²⁺ pH

Поверхность

моря -12-18 183-95 219 8,28-46

Придонный

слой

в воронках

9,77 276-96 207-07 235-76 6,57-43

Гидрохимический эффект от присутствия в придонном слое и иловых водах CO₂ выражен в резком повышении содержания ионов слабых кислот. За счет углекислой агрессии может несколько возрасти общая минерализация. Однако, если для оценки углекислой агрессии использовать показатель соотношения концентраций в растворе анионов сильных и слабых кислот (R), то таковой практически не обнаруживается [77]. Считается, что для зоны гипергенеза наибольшей углекислой агрессией характеризуются воды, у которых R 0,5, переменной R от менее пяти до 4+6 и пониженной R = (4+6) -60. В нашем случае величина R превышает 60.

По данным экспериментов проведенных еще в пятидесятые годы [98], Ca CO₃ и CaSO₄ в присутствии NaCl от 5 до 10 г/л (в нашем случае 13,5 -16,0 г/л) Pco₂ = 1 кг с /см, t = 25 °С, при достижении равновесия с твердой фазой, представленной кальцитом, со-

Глава 10. Миграция флюидов... 127

отношение содержания сильных и слабых кислот R = 4. При таком соотношении прекращается положительное влияние хлор-иона на растворимость сульфатных солей, то есть формируются воды средней степени метаморфизации, что подтверждается и коэффициен-

тами метаморфизации вод в б. Очеретай.

Еще одной особенностью иловых вод в воронках тарханкутских бухт является повышенное содержание йода, брома и бора. Процесс накопления йода (в нашем случае до 14 мг/л) может происходить двояко. Согласно существующим представлениям [79, 95] содержание йода в морских водах в среднем составляет $2,39 \cdot 10^{-4}$ г/кг. Основные формы йода в поверхностном слое осадков находятся в твердой фазе. В иловую воду на начальной стадии диагенеза переходит всего несколько процентов от общего содержания йода. В подземных водах глубоких горизонтов его содержание может достигать десятков и даже сотен мг/л. В водах палеогенового горизонта содержание йода, брома и бора соответственно 68,46; 118,79; 665 мг/л в скважине, пробуренной на суше, а в морской скважине на поднятии Голицина – 37,0; 201,6 и 116,7 мг/л соответственно. Следовательно, существует реальная возможность поступления галогенов по тектоническим нарушениям в верхние этажи разреза и накопление путем сорбции в илах. По данным литературных источников, содержание йода в илах повышается с увеличением содержания органических углеводов от $2,4 \cdot 10^{-4}$ % (при $S_{орг} = 0,36-40\%$) до $1,0 \cdot 10^{-2}$ % (при $S_{орг} = 3,25\%$).

Накопление брома в органических веществах морских илов в значительной степени зависит от солёности, влажности и величины $S_{орг}$. Концентрация брома, и в ещё большей степени йода, увеличивается при условии перехода этих элементов из минерализованной органики в раствор. Измеренные содержания брома в придонном слое воронки достигают 52,1 мг/л при фоновом в бухте 31,7 мг/л. Как уже отмечалось, высокие содержания брома наблюдаются и в подземных водах глубоких водоносных горизонтов. В меньшей степени заметно накопление бора: 3,2 мг/л при фоновом – 2,6 мг/л. Соответственно, в пределах воронки варьируется величина хлор-бромного коэффициента 319–02. Если первое значение коэффициента совпадает с фоновым, то второе свидетельствует об ощутимом метаморфизме вод.

128 Гидрогеология прибрежной зоны

Приведенные факты говорят о комплексном характере образования геохимических и гидрохимических аномалий в бухтах Тарханкутского полуострова. Они также указывают на высокую химическую активность разгружающихся по тектоническим наруше-

ниям подземных вод и газов, отражая специфику взаимодействия глубокозалегающих подземных и морских вод в зоне субмаринной разгрузки.

К а з а н т и п с к и й п о л у о с т р о в

Выявление разрывных нарушений и ослабленных зон на морских побережьях, оценка их современной активности представляют не только научный интерес, но имеют и большое практическое значение. В первую очередь это важно при проектировании и строительстве крупных, потенциально опасных для окружающей среды объектов – атомных электростанций, химических заводов, терминалов, нефте- и газопроводов. Одним из ярких примеров служит строительство Крымской АЭС, начатое без детального изучения тектоники и сейсмических условий района [19]. Требования безопасности при выборе площадки МАГАТЭ запрещают строительство, если ее пересекает разрывное нарушение. Поэтому, помимо прочих негативных факторов, которые могли бы повлиять на безопасную эксплуатацию станции, одной из главных причин прекращения строительства данного объекта было обнаружение разрывного тектонического нарушения, не выявленного при изысканиях.

Тектоническую обстановку района Казантипского полуострова определяет Южно-Азовский ретронадвиг (ЮАРН), расположенный в акватории Азовского моря. ЮАРН – крупная сейсмогенерирующая дислокация, имеющая смещение по фундаменту в 1,4 км, а в майкопских отложениях – до 0,5 км по данным сейсморазведочных работ (МОГТ, НСАП). Такие дислокации обычно осложняются операционными разрывами с меньшими амплитудами смещения, достаточными все же для нарушения сплошности водоупоров и образования ослабленных зон. Одним из них является Семеновское нарушение, пересекающее промплощадку, перешеек полуострова, Арабатский и Казантипский заливы.

Результаты маршрутных и газогеохимических наблюдений в акватории Арабатского залива показаны на рис. 10.4. Поле гелия на

Глава 10. Миграция флюидов... 129

участке залива неоднородно. Небольшие его превышения над фоновыми в придонных и поровых водах от 0,3 до 1,0 мг/л все же заслуживают внимания, учитывая интенсивное волновое перемешивание на мелководье. Концентрации метана в поровых водах составляли 0,1–2%, сероводорода – до 67,1 мг/л. Пробы, содержа-

щие сероводород, характеризовались понижением величины рН на 0,55–,85 единицы по отношению к фоновым, отрицательными значениями Eh, а также резким повышением концентраций карбоната (в 2– раза по отношению к фону). Эти показатели указывают на миграцию углеводородных газов, поступающих из нижележащих продуктивных толщ в рыхлые, обогащенные органическим веществом современные морские осадки. По существу, природная геохимическая обстановка оказалась аналогичной той, которую мы наблюдали в бухтах Тарханкутского полуострова.

Процессы формирования химического состава придонных и поровых вод в северной части Казантипской бухты происходят на фоне слабой субмаринной разгрузки перетеканием подземных вод. Эти воды с минерализацией 3– г/л приурочены к трещинноватым, местами закарстованным известнякам неогенового возраста (N_{1m}), развитым на полуострове Казантип. Разгрузка сопровождается понижением солености поровых вод на 1,77%, изменением соотношения CO₂/ HCO₃ и практически не проявляется в придонном слое. Исследования химического состава грунтов показали повышенное содержание в них ряда элементов: Pb, Ag, Zn, Ni, Cu, Li. Повышенное их содержание характерно и для ряда разрывных нарушений Керченского полуострова, в связи с чем ассоциации этих элементов можно считать индикаторами при трассировании разрывов [46]. В пользу обоснованного выделения разрывного нарушения по геохимическим данным свидетельствуют: 1. Сочетания повышенных концентраций одних и тех же элементов в зоне тектонического нарушения. 2. Совпадение геохимических аномалий с аномалиями газовых компонент. 3. Отрицательные аномалии железа и кальция, выщелачиваемые в зоне повышенной проницаемости в связи с интенсивной миграцией подземных вод.

Обобщая опыт выделения и трассирования разрывных нарушений в акваториях прибрежной зоны, отметим ряд важных на наш взгляд обстоятельств.

130 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 10.4. Результаты маршрутных и гидрогазохимических наблюдений в прибрежной зоне Азовского моря.

1 –сероводород в поровых водах, 2 –точка опробования, 3 –гелий в придонной воде, 4 –гелий в поровых водах, 5 –изогалины придонных вод, 6 –изогалины поровых вод, 7 –консолидированные отложения, 8 –не кон-

солидированные отложения, 9 –пески, 10 –карбонатные отложения неогена, 11 –положение профиля картировочных скважин на суше.

Глава 10. Миграция флюидов... 131

1. На мелководных участках прибрежной зоны выявление и трассирование разрывных нарушений представляет определенные трудности в связи с ограничением возможности применения традиционных геологических, геофизических и других методов. Достаточно информативным представляется применение газогеохимических методов по комплексу признаков, определяющих положение разрыва в акватории.

2. При выделении и трассировании разрывных нарушений в прибрежной зоне следует учитывать геоморфологические особенности побережья и условия осадконакопления. В рассмотренных нами случаях тектонические нарушения трассируются на типично абразионном (Тарханкутский полуостров) и типично аккумулятивном (Казантипский полуостров) берегах. В первом случае малая мощность современных осадков обуславливает большие градиенты всех видов аномалий. Во втором, выявлены лишь газовая и геохимическая составляющие комплекса признаков, поскольку они более мобильны в процессах миграции.

3. Изучение механизма образования очагов сероводородного заражения на доступных для непосредственного наблюдения глубинах можно рассматривать в качестве модели образования сероводородной зоны глубоководной части Черного моря. Не отвергая других концепций, объясняющих возникновение этого феномена, обратим внимание на четкую временную привязку (7500–000 лет.). Показательно и то, что процессы сульфатредукции протекают только в верхней части толщи глубоководных осадочных отложений, при участии подземных вод и газов глубоких горизонтов.

Глава 11.

ИНТРУЗИЯ МОРСКИХ ВОД В предыдущих главах мы рассматривали одну из сторон взаимодействия

подземной гидросферы и океана –субмаринную разгрузку подземных вод. Наряду с разгрузкой существует и противоположный по знаку процесс –внедрение морских вод в сторону суши. Явление это не менее сложное, обладающее рядом специфических черт, которое принято называть интрузией (от латинского

слова «intrusio»). Термин широко применяется в геологии, но употребляется чаще всего для описания процесса внедрения магмы в осадочные породы.

Причины возникновения и существования интрузий морских вод обусловлены рядом факторов: геологических, гидрогеологических, геоморфологических, синоптических и других.

Первые включают в себя: геолого-структурные особенности прибрежной зоны, характер дислокаций (как пликативных, так и дизъюнктивных), литологию слагающих зону активного водообмена пород, темпы современного осадконакопления (особенно в областях лавинной седиментации) и т.д.

Ко вторым относятся гидродинамические параметры водоносных горизонтов: пьезометрические уровни (уклоны), расход, характер гидравлической связи с морем. К этой же группе факторов следует отнести фильтрационные свойства пород коллекторов и водупоров.

Главные геоморфологические факторы – изрезанность береговой линии, морфология субаэральной и субаквальной частей прибрежной зоны, наличие рек и каналов, дренажных систем, дамб и других гидротехнических сооружений.

В группу синоптических объединяются факторы, определяющие характер взаимодействия океана и атмосферы: интенсивность и повторяемость штормов определенного направления, барические образования (сейши). К синоптическим факторам можно отнести и некоторые климатические особенности побережий, например, наличие вечной мерзлоты.

Глава 11. Интрузия морских вод 133

Перечисленные выше группы факторов следует дополнить космическими, влияющими в первую очередь на интенсивность приливо-отливных явлений.

Среди наиболее часто встречающихся видов интрузии можно назвать непосредственное внедрение морских вод в водоносный горизонт и опосредованное внедрение. Последнее происходит в результате нагона в реки и каналы морской воды с последующей фильтрацией её в водоносные горизонты. Интрузией является и перетекание морских и минерализованных вод через слабопроницаемые отложения, литологические окна и зоны тектонических нарушений.

Перетекание соленых вод через литологические окна в горизонты

пресных вод –достаточно часто наблюдаемое явление, причем высокоминерализованные воды не обязательно должны быть морскими. В данном случае, мы имеем дело со своеобразным типом внедрения, которое можно назвать инъекционным. В целом, интрузии подвержены, прежде всего, грунтовые воды и первые от поверхности напорные водоносные горизонты. Глубокозалегающие горизонты, как правило, не подвергаются внедрению морских вод.

По времени возникновения интрузии можно разделить на периодические, вызванные приливами и эпизодические, обусловленные штормовыми нагонами и крупными сейшми. Для иллюстрации масштаба воздействия приливов приведем лишь один пример. На реке Амазонке приливы проникают вверх по течению на 1400 километров и сопровождаются в низовьях, на мелководьях отвесной волной высотой до пяти метров, так называемой поророкой. Любопытно, что на одном из местных индейских наречий это явление называется «Амазуну». По мнению некоторых ученых, от этого слова произошло название самой реки, звучащее по испански как *Rio Grande de las Amazonas* –Большая река Амазонка.

Наряду с приливами, штормовые нагоны и сейши –главные естественные факторы возникновения интрузии в прибрежной зоне. Величина и длительность подъема уровня моря определяют глубину проникновения морских вод в сторону суши. В случае одновременного возникновения, они могут вызвать не только интрузии, но и сопровождаться разрушением различных береговых сооружений. ·Энциклопедический словарь географических названий. –М., Советская энциклопедия, 1973. –804с.

134 Гидрогеология прибрежной зоны

оружений. В низких широтах сильные нагоны случаются во время тропических ураганов. Так, в Карибском море подъем уровня моря в 1900 году составил пять метров («Галвестонское наводнение»). Сходные по величине нагоны произошли от ураганов «Карла» в 1961 году, «Камилла» в 1969 году и других. В Аравийском море на побережье Пакистана (Читтагонг) уровень моря 31 октября 1961 года поднялся на 22 фута (приблизительно семь метров). Причем максимальная отметка подъема уровня была четко зафиксирована на внутренних стенах затопленной башни маяка. Невозможно удержаться, чтобы не привести цитату из книги В. Баскома «Волны и пляжи», описавшего этот шторм: «С наступлением суме-

рек в районе волнового нагона стало на якорь судно типа «Либерти». Оно удерживалось против ветра при непрерывно работающем винте, чтобы ослабить натяжение якорной цепи. В момент самого высшего нагона, капитан решил, что от судна до берега добрых четыре мили. Каково же было его удивление, когда через несколько часов рядом с кораблем показались верхушки пальм, а на рассвете обнаружилось, что корабль бросил якорь на твердой земле, примерно в миле от берега. Сдвинуть судно с места было невозможно, и его пришлось отдать на слом». Подлинной трагедией при таких нагонах для оставшихся в живых людей на побережьях является в первую очередь отсутствие пресной воды. Грунтовые воды засоляются, колодцы выходят из строя, вспыхивающие эпидемии приводят к увеличению числа жертв.

В Европе, вероятно, самым катастрофическим был шторм 1 февраля 1953 года у побережья Нидерландов. Причиной катастрофы явилось фатальное совпадение неблагоприятных факторов: сизигийный прилив, крупная сейша и длительный штормовой нагон, в результате которого уровень моря на 2,75 метра превысил уровень прилива. Позже этот шторм был назван штормом «четырёх столетий», исходя из того, что сочетание всех факторов может случиться лишь раз в четыреста лет. Понесенные страной убытки сопоставимы с убытками от двух мировых войн. Были прорваны берегозащитные дамбы, погибло 1783 человека, затоплено свыше трехсот тысяч гектаров земли. При затоплении полейдеров произошло засоление почв и грунтовых вод – своеобразная интрузия с инфильтрацией морской воды через зону аэрации. Пострадали также невысо-

Глава 11. Интрузия морских вод 135

кие острова в Северном море. На о. Вальдхерн морская вода попала в грунтовый горизонт, водозаборы которого снабжали пресной водой г. Миддельбург. Понадобилось семь лет постоянной перекачки и промывания горизонта, чтобы содержание хлор-иона снизилось с 1400 до 400 мг.экв. [42].

Низкие отметки побережья и наличие громадных полейдеров делают Нидерланды особенно подверженными интрузии морских вод. Голландцам постоянно приходится заботиться о нормальном водоснабжении. На большей части территории здесь пресные подземные воды залегают на глубинах до 200 м, ниже находятся морские воды. Для того, чтобы избежать их внедрения в водоносные гори-

зонты с пресной водой, эксплуатационные водозаборы устраиваются с двумя скважинами. Из одной скважины откачивается пресная вода, а из другой ведется одновременная откачка соленой [71].

В научных публикациях много внимания уделяется рассмотрению интрузий, вызванных искусственными факторами. Это объясняется, прежде всего, экономическими соображениями, поскольку обустройство крупных водозаборов и их эксплуатация связаны с большими материальными затратами. Выход из строя водозаборных сооружений влечет за собой ухудшение или прекращение водоснабжения. При этом внедрение морских вод в сторону суши на участках действующих водозаборов обусловлено одной причиной – чрезмерным отбором пресных подземных вод.

В естественных условиях поток подземных вод в сторону моря удерживает морские воды от внедрения или мористее береговой линии, вблизи берега или несколько глубже. Интенсивный водоотбор может понизить напоры в водоносном горизонте и вызвать интрузию, как это показано на рис. 11.1. На формирование фронта или «языка» морских вод влияет соотношение плотностей пресных и морских вод и гидростатических напоров. При схематизации границы раздела по Гибену-Герцбергу она представляется «жесткой», то есть в виде отчетливого контакта, по которому пресная вода стекает как по водоупору в силу различной плотности. В случае гидростатического равновесия пресных и соленых вод, для оценки конечной длины «языка» соленых вод в водоносном горизонте, можно воспользоваться известным в литературе приближенным выражением Д.Тодда [33]:

136 Гидрогеология прибрежной зоны

$$L = (\gamma_0 - 1) m / I \quad (11.1)$$

или

$$L = (\gamma_0 - 1) m K / q \quad (11.2)$$

где $\gamma_0 = \gamma_c / \gamma_n$ – отношение плотностей соленой γ_c и пресной γ_n воды; m – мощность пласта; I – градиент потока подземных вод, разгружающихся в море, q – расход потока на единицу длины береговой линии, K – водопроницаемость.

Зная длину «языка» морских вод (L) по этой же формуле можно определить величину потока пресных вод разгружающихся в море. Между тем, граница Гибена-Герцберга, как и понятие «язык со-

ленных вод» – чисто теоретическое допущение, в виде достаточно грубой схематизации границ. На самом деле, как при разгрузке подземных вод, так и при интрузии, между солеными и пресными водами существует переходная зона – зона дисперсии. При этом подразумевается, что между морскими и пресными водами наблюдается не гидростатическое, а гидродинамическое равновесие. По Роджеру Рис 11.1 Положение границы раздела пресные – морские воды в разрезе береговой зоны.

Глава 11. Интрузия морских вод 137

де Уисту «Гидродинамическая дисперсия в пористых средах – это механический или конвективный процесс вытеснения одного флюида другим, при их смешении в переходной зоне – зоне дисперсии» [36]. Изменение минерализации (плотности) в этой зоне определяется с помощью коэффициента дисперсии D с размерностью L^2T^{-1} , введенного А.Е.Шайдеггером. При малых скоростях фильтрации основную роль в смешении приобретают процессы молекулярной диффузии. Соответственно, в расчеты вместо коэффициента дисперсии вводится коэффициент эффективной молекулярной диффузии D_m . Связь между ними для продольной дисперсии находится по выражению [36]:

$$D = D_m + \alpha U$$

$$n \quad (11.3)$$

где α – постоянная, U – средняя скорость фильтрации. Значение показателя степени n близко к единице. При $n = 1$, постоянная α имеет размерность длины, характеризующей данную пористую среду.

Более подробное изложение особенностей движения неоднородных жидкостей в пористой среде выходит за рамки нашей работы.

Скажем лишь несколько слов о масштабах явления.

Мощность переходной зоны зависит от ряда параметров, в том числе от проницаемости водовмещающих пород, соотношения плотностей, градиентов напора и других. Линейные размеры зоны дисперсии в натуральных условиях реальных интрузий могут быть самыми разными. Например, в юго-восточной части округа Нассо (штат Нью-Йорк), в районе откачки, по изохлоринам выделена зона смешения пресных и соленых вод в 1,6 км [71]. В районе г. Гаага (Нидерланды) по данным Н. Лесезинского она составляет около 3,8 км [132].

При анализе конкретных случаев интрузии, вызванных искус-

ственными причинами, выявляется общая закономерность. Число случаев увеличивается одновременно с ростом населения на побережьях и увеличением водоотбора пресных подземных вод. На рис. 11.2 схематично показаны участки внедрения морских вод в сторону суши отмеченные Геологической службой США [125]. Схема не отражает подлинных масштабов развития интрузий. Так, на побережье штата Калифорния зарегистрировано 44 участка внедрения морских вод в сторону суши и еще 100 в пределах которых оно

138 Гидрогеология прибрежной зоны

возможно. Максимальная длина языков соленых вод изменяется от 1,3 км в Напа-Санама до 8 км в Санта Клара.

Отдельного рассмотрения заслуживает опыт решения проблемы интрузии в штате Флорида. На фоне непропорционального роста населения за последние сто лет в округах, расположенных на побережье, возникла необходимость в дополнительных источниках водоснабжения. В начале XX века численность населения штата составляла 500 тысяч человек. К 1985 году она выросла до 11,3 млн. человек. Причем, 47% населения приходится на 13 округов, расположенных на берегу Атлантического океана [146]. Понижение уровней подземных вод на побережье спровоцировало:

1. Водоотбор для нужд питьевого водоснабжения.
2. Мелиоративные мероприятия по осушению болотистых участков.

В первом случае, проблема продвижения фронта морских вод решается путем обустройства так называемой «гидравлической

Рис 11.2. Основные участки побережья США, где отмечены случаи интрузии морских вод в водоносные горизонты [125].

1 –места обнаружения интрузии морских вод; 2 –просадочные явления на фоне сработки уровня водоносного горизонта.

Глава 11. Интрузия морских вод 139

завесы» –нагнетания пресной воды в скважины, создающей «обратный» напор. Во втором –приостановкой мелиоративных работ. Однако, проблемы сохранения водозаборов на этом не ограничиваются. В северо-западной части полуострова перетекание минерализованных подземных вод из нижележащих водоносных горизонтов по трещинам вертикального заложения сопровождается откачку пресных вод.

Интрузии морских вод имеют место в Северной Африке, в Алжире, Тунисе, Марокко. В Европе они наблюдаются в Испании (до-

лина р.Эбро), на побережье Франции (Лотарингия, Лионский залив), а также в Италии, Германии, Польше, Югославии и некоторых других странах. Иными словами, интрузии имеют глобальное распространение.

Остановимся более подробно на Азово-Черноморском регионе. На побережье Кавказа, в районе г.Сочи, в трехбалльный шторм вода в грунтовых колодцах становится солоноватой, а в пятибалльный – соленой и непригодной для питья [71]. Аналогичные явления при штормовых нагонах наблюдаются в Черноморском и части Раздольненского районов Крыма.

Интрузии морских вод, обусловленные искусственными факторами, отмечены в целом ряде южных областей Украины. Причины и характер их описаны в работе «Подземные воды карстовых платформенных областей юга Украины». [73.]. Масштаб распространения этого явления достаточно велик. Пресные подземные воды замещаются морскими по всему западному побережью Крыма, в районе городов Херсона, Одессы и Геническа, в приустьевых частях долин Южного Буга и Днепра. В Северо-Сивашском бассейне с 1964 по 1977 год соленые воды продвинулись в глубину суши на расстояние 2,5– км, причем скорость продвижения достигала 200– 440 м/год.

Минерализация вод понт-мэотис-сарматского водоносного горизонта повысилась от 0,49 г/дм³ до 3,8 г/дм³. Языкообразный характер интрузий авторы объясняют увеличением водоотбора из эксплуатационных скважин и анизотропией фильтрационных свойств карбонатных коллекторов. Аналогичная картина наблюдается и в западной части Альминского артезианского бассейна, имеющего гидравлическую связь с морем.

140 Гидрогеология прибрежной зоны

Сложная гидрогеологическая обстановка на низменном северо-западном побережье Черного моря во многом сходна с ситуацией на полуострове Флорида. В Херсонской и Одесской областях сезонные увеличения значений общей минерализации в полтора-два раза вызываются подтягиванием минерализованных вод в понт-мэотис-сарматские слои из смежных горизонтов, обладающих застойным режимом. Темпы вертикального водообмена успешно определяются методами моделирования. В частности, такая работа выполнена для Причерноморского артезианского бассейна [15]. Ценность этой работы заключается в первую очередь в достоверной оценке есте-

ственных ресурсов подземных вод, включая морские побережья. Рассмотрение интрузии с позиций сугубо негативных следствий было бы односторонним. Природа, создавая те или иные явления, всегда исходит из принципа целесообразности. Покажем это на примере оз. Чокрак (Керченский полуостров). Само озеро является месторождением лечебных грязей, обладающих высокой бальнеологической ценностью. Бальнеологический эффект грязей заключается, главным образом, в их высокой биологической активности. В свою очередь биологическая активность – продукт сложной природной системы: сообществ различных организмов, грязевого субстрата и рапы. Существование системы, сохранение целебных свойств грязей и их восполнение напрямую зависит от водно-солевого баланса озерной котловины. Месторождений лечебных грязей подобного класса в мире не так много и значение их для курортной сферы трудно переоценить [111]. Так, в Западной Европе для лечебных аппликаций используется размолотая пемза, вообще не имеющая биологической активности.

Котловина Чокракского озера площадью 8,47 км² отделяется от Азовского моря пересыпью длиной 1,7 км, сложенной детритусовыми песками. Соленость рапы в озере по многолетним наблюдениям колеблется в пределах 157–47 г/л. Излишнее её разубоживание, как и пересыхание озера, приводят к деградации грязевой залежи, снижению ее бальнеологических свойств. Одним из основных источников поступления в озеро солей, влаги и микроэлементов является фильтрация морских вод через пересыпь, то есть интрузия. Разность уровней Азовского моря и озера составляет в среднем около одного метра, при высоте пересыпи 2,3–5 метра. В 1993 году нами были

Глава 11. Интрузия морских вод 141

проведены работы по оценке величины фильтрации через тело пересыпи. В штилевых условиях фильтрационный поток в сторону озера составил 303,5 м³/сут. При штормовых нагонах и сейшах, вызывающих повышение уровня моря на 0,5 м, величина фильтрационного потока увеличивается в 1,8 раза и составляет 535,86 м³/сут.

Параметры взаимодействия озерных и морских вод изучались с помощью мелких скважин и шурфов. Неоднородность фильтрационных свойств отложений пересыпи отражает карта гидроизогипс (рис. 11.3).

При изучении химического состава подземных вод пересыпи вы-

яснилось, что помимо морских вод с содержанием хлор-иона 6,1 г/л и вод зоны дисперсии с содержанием хлор-иона до 12,1 г/дм³, имеются еще и линзы пресной и солоноватой воды с содержанием хлор-иона в диапазоне от 0,06 г/дм³ до 2,1 г/дм³, с постепенным увеличением хлорности от центра к периферии (рис. 11.4).

В водном балансе озера интрузия имеет подчиненное значение, оказывая влияние лишь на его северо-восточную часть. Диффузионный поток рассчитанный по закону Фика [71] и с помощью выражения 11.3 составляет всего 0,022 м³/сут. Поэтому, для сохранения оптимальной солености рапы и влажности грязевого тела в сухие сезоны, рекомендовано дополнять поступление морской воды в озеро строго дозированными попусками. Для этой цели придется создать специальное гидротехническое сооружение и не допускать размыва пересыпи штормовым волнением, как это случилось в 1979 году.

Интрузия морской воды в оз. Чокрак не единичный случай в регионе. Подобные интрузии наблюдаются в лиманы северо-западной части Черного моря, отгороженные от моря пересыпями: Сасык, Шаганы, Алибей, Будацкий и другие. За счет испарения в аридных условиях уровень воды в них обычно ниже уровня моря, а соленость значительно выше. Так же как и в оз. Чокрак, во время штормового волнения пересыпи местами подвергаются размыву и лиманы заполняются морской водой [23].

Даже весьма краткое рассмотрение проблемы интрузий морских вод показывает, насколько серьезно это явление осложняет водопользование в прибрежных регионах. Кроме того, выявляется, сколь разнообразную роль играет прибрежная зона в системе океан – суша. А интрузии есть ничто иное, как неотъемлемый элемент процессов водообмена подземной гидросферы и океана.

142 Гидрогеология прибрежной зоны

Рис 11.3. Изучение взаимосвязи озерных и морских вод в районе пересыпи озера Чокрак.

1 –скважина, цифры: слева –номер скважины, справа –отметки уровня подземных вод (см); 2 –шурф и его номер;

3 –скважина с отрицательными значениями E_h; 4 –линия берега; 5 –гидроизогины (см). Отметка ниже уровня

Азовского моря; 6 –отрицательные значения E_h в подземных водах; 7 –контур грязевого поля; 8 –профиль и его

номер.

Глава 11. Интрузия морских вод 143

Рис 11.4. Изолинии равных концентраций хлор-иона в подземных водах пересыпи озера Чокрак.

1 –скважина, цифры: слева –номер скважины, справа –концентрация Cl-ионов; 2 –шурф, цифры: слева – номер

шурфа, справа –концентрация Cl-ионов; 3 –изохлорины; 4 –линия берега; 5 –контур грязевого поля; 6 –

профиль

и его номер.

Г л а в а 12.

П О Д З Е М Н Ы Е В О Д Ы И Э К О Л О Г И Я П Р И Б Р Е Ж Н О Й З О Н Ы

Из всего многообразия проблем, связанных с экологией прибрежной зоны, наименее изученными являются следствия разгрузки загрязненных подземных вод. Как уже отмечалось, масштабы самой разгрузки сильно варьируют, достигая иногда значительных величин. Так, для Средиземного моря общий подземный сток достигает 68 км³/год, а вынос солей подземными водами с Европейского континента оценивается в 27,4 млн. т/год [42].

Разгружающиеся подземные воды чаще всего резко отличаются от водной среды морей по своим физико-химическим свойствам. Эти различия наиболее контрастны в очагах с инъекционным механизмом разгрузки сероводородных, термальных и минеральных вод. С одной стороны они 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 составная часть автохтонных процессов, во втором – очаги «естественного загрязнения».

Термин «естественное загрязнение», в достаточной мере условен, однако применение его в отдельных случаях вполне оправдано: он может быть использован для участков прибрежной зоны, планируемых для развития марикультуры. Приведем пример из другой области – метеорологии: «естественным загрязнением» можно считать вулканические выбросы ядовитых и раскаленных газов, массовые выбросы вулканического пепла в атмосферу.

Воздействие «естественного загрязнения» на морскую биоту неоднозначно. В первом приближении выделим три основных вида экологического воздействия: позитивное, негативное и граничное. Позитивное воздействие выражается в выносе подземными водами в морскую среду питательных веществ. Такие случаи извест-

ны как на мелководьях, так и в глубоководных частях океана. Проиллюстрируем это красочным описанием наблюдений Д. Эдмонда и К. фон Дамма с подводного обитаемого аппарата «Элвин» в *Глава 12. Подземные воды и экология... 145*

восточной части Тихого океана [100]: «...мы оказались в оазисе. Рифы из мидий и целые поля гигантских двухстворок, крабы, актинии и крупные розовые рыбы, казалось, купались в мерцающей воде. Внутри круга диаметром около ста метров теплая вода, казалось, струилась из каждой расселины, каждого отверстия на морском дне. Температура воды была различной, но максимальная составляла 17°C. Организмы оказались разборчивыми – одни забивались в отверстия с наиболее теплыми струями. В ряде случаев организмы буквально обрастали струю воды и сами служили водопроводящим каналом».

К 1990 году в Тихом океане было обнаружено более десяти глубоководных термальных оазисов. Список обитающих в них организмов, известных и неизвестных науке, превысил сотню, причем мелкие виды, длиной менее 1 см, ещё практически не исследованы [55].

В бухте Кратерной на острове Ушишир (Курильские острова), при проведении подводных работ на глубине 2– метров найдено более двадцати выходов горячей воды и газов [86]. По своему составу эти воды сходны с морской, но заметно преснее –22,4 ‰. Температура выходов составляла 82–7°C. Вокруг источников расположились своеобразные «бороды», представляющие собой колонии серобактерий, наблюдалось скопление беспозвоночных –усоногих раков, морских ежей, голотурий, многощетинковых червей, губок и др. Плотность обитающих вокруг источников гидробионтов очень велика, а морфологически они довольно сильно отличались от аналогичных видов обитающих с наружной стороны острова.

В отличие от глубоководных источников, где жизнь является продуктом размножения хемосинтезирующих бактерий, в прибрежной зоне она обеспечивается фотосинтезом. Организмы вокруг гидротерм процветают при сниженных до минимума концентрациях кислорода и значительных концентрациях сероводорода. Авторы считают, что бухта Кратерная может служить своеобразной природной моделью приспособления гидробионтов к условиям жизни в воде, содержащей помимо сероводорода аммиак, тяжелые металлы и другие ядовитые вещества.

*Негативное воздействие субмаринной разгрузки подземных вод на гидробионтов проявляется не менее широко. В морях с нормальной океанической соленостью зоны распреснения вызывают угнетение и гибель большинства стеногалинных (от греческого *stenos* – 146 Гидрогеология прибрежной зоны*

узкий) организмов. Даже в относительно распреснённых водах Черного моря в заполнители грифонов пресных субмаринных источников встречаются раковины погибших рапан, двустворок и остатков других организмов.

Еще более угнетающую картину представляют собой обнаруженные нами участки разгрузки минерализованных вод и углеводородных газов в прибрежной зоне Тарханкутского полуострова. При подводном обследовании на участках разгрузки наблюдатель видит ровное, слегка всхолмленное дно по цвету напоминающее пепел. Вся площадь разгрузки представляет собой пустыню, где гибнут все виды бентосных организмов, лишь изредка по краям встречаются остатки водорослей, почерневших и, как бы, обугленных. На границе площади разгрузки попадают также панцири крабов, пустые раковины мелких и крупных двустворок. Высокие концентрации сероводорода (до 102 мг/л в придонном слое) 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 разгрузки газов может являться причиной массовой гибели черноморской мидии на перспективных для массовой добычи банках Тарханкута.

Особое положение, на наш взгляд, занимают граничные области. В них можно наблюдать как негативные следствия разгрузки, так и позитивные. При исследовании субмаринной разгрузки пресных подземных вод в районе п. Гантиади нами было обнаружено, что на удалении нескольких метров от грифонов мидии имеют значительно более крупные размеры. Отличительной чертой этих моллюсков было также большое количество карбонатных включений в мантии (мидиевый жемчуг). Похожее явление наблюдалось и на участке субмаринной разгрузки в г. Гагра. В граничных областях хорошо чувствуют себя макрофиты, что, вероятно, объясняется присутствием питательных веществ в воде субмаринных источников. Позитивный граничный эффект наблюдается и у глубоководных ис-

точников, приведенных в описании Д. Эдмонда и К. фон Дамма. Феномен субмаринной разгрузки и ее биологические следствия нельзя рассматривать без учета антропогенного влияния на подземные воды, учета изменения количества и состава растворенных веществ, выносимых подземными водами в море. Если функциониро-

Глава 12. Подземные воды и экология... 147

вание очагов «естественного загрязнения» определяется только гидрогеологическими условиями субаквальных территорий, то антропогенные зависят от степени урбанизации побережий, размещения промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий. Региональное обобщение по загрязнению морских вод и донных осадков обширного участка прибрежной зоны Атлантического океана, от полуострова Новая Шотландия до Чесапикского залива за десять лет 1976–1987 были выполнены в США. В результате получены вполне предсказуемые сведения: наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на прибрежную зону крупных городов Нью-Йорка, Бостона, Провиденса, Балтимора и других, а также на долю эстуариев.

Прежде чем говорить далее о загрязнении, уместно сделать отступление, так как по поводу этого термина существует широкая дискуссия. Суть ее заключается в том, что в различных странах приняты разные критерии уровня загрязнения природных вод. Относительно сброса загрязняющих веществ в моря многие специалисты стоят на крайних позициях: от полного запрещения всех сбросов, до разрешения их в любой глубоководной части океана. Фактически же, все сбросы сточных вод рассчитываются на заглубление ниже термоклина (глубины 50–100 м), с тем, чтобы загрязняющие вещества не попадали на поверхность. При исключении крайних точек зрения специалисты должны предлагать решения, базирующиеся на достоверной информации о влиянии токсических веществ на морскую биоту и объективные оценки экологического риска, хотя существующие на сегодняшний день научные представления далеко не всеобъемлющи. Во всяком случае, учитывая тяжелые последствия прямых сбросов или проникновение с подземным стоком токсических веществ в море, не следует сводить все к рассуждениям по проблеме загрязнения к чисто экономическим соображениям, мотивируя их неизбежным ростом техногенных нагрузок и называя это техническим прогрессом. Морские сообщества организмов в не меньшей степени ранимы, чем те, которые обитают на

суше, и точно также человечество должно дать им шанс на выживание. Если принять этот тезис, то нам более всего импонирует определение термина загрязнения предложенное А. Ф. Спилхаузом –экспертом по вопросам загрязнения Национального управления океанологии и метеорологии США: «Все живое или неживое, что своим избытком снижает качество жизни, является загрязнением».

148 Гидрогеология прибрежной зоны

Как уже отмечалось, негативное воздействие загрязняющих веществ на морскую биоту особенно заметно в закрытых бухтах, заливах и эстуариях. Открытые побережья с активной циркуляцией морских вод и высокими показателями самоочищения внешне выглядят благополучно, тем самым создавая иллюзию к вседозволенности. Отмечая высокую стоимость очистных сооружений, известный немецкий ученый С.А.Герлах заявляет: «Совершенно очевидно, что в условиях открытого побережья с хорошим водообменом, очистные сооружения вообще не нужны». В качестве аргумента им приводится соображение, что очистные сооружения производительностью 3800 м³/сут эквивалентны стоимости трубопровода для сброса сточных вод на расстояние 16 км от берега [27].

С подобной позицией трудно согласиться, тем более, что в дальнейшем автор противоречит сам себе. Речь идёт об описании случая сброса сточных вод химическим предприятием на побережье Ютландии, производящим пестицид портион Е 605. В 1964 году в акватории района сброса отмечена гибель рыбы, а по истечении некоторого времени вдоль 60-ти километрового участка побережья начали гибнуть омары. Сточные воды на поверку оказались более ядовитыми, чем сам портион, причем токсичность их оставалась высокой даже при разбавлении в 50 тысяч раз. Таким образом, сбросы промышленных стоков на открытых побережьях не могут считаться вполне безопасными для экологии прибрежной зоны.

З а г р я з н е н и е о д з е м н ы х в о д р и у с т ь е в ы х у ч а с т к о в р е к и к о н у с о в ы н о с а

Приустьевые участки рек издавна осваивались человеком в качестве узловых пунктов удобных транспортных артерий и центров торговли. Около них строились порты, города, промышленные предприятия, что позже привело к образованию крупных мегаполисов. В настоящее время они относятся к районам самого высокого антропогенного прессинга на окружающую среду.

В качестве показателей загрязнения городских и промышленных стоков чаще всего используются: величины БПК₅, содержание нефтепродуктов, сульфатов, целого ряда токсических соединений, тяжелых металлов. Миграционные пути последних отличаются некоторыми особенностями, например, связанные с твердым стоком

Глава 12. Подземные воды и экология... 149

рек. При этом следует различать их генезис, который может быть как литогенным, так и техногенным.

Литогенное загрязнение донных осадков наблюдается в реке Эклесбурн (Девоншир, Англия) от природного оруденения в верхней части долины. Повышенные содержания свинца и цинка, 1840 и 420 мкг/г соответственно, поступают с продуктами абразии в конус выноса реки Гел (Бельгия). Имеются сведения о загрязнении подземных вод и аллювия в конусах выноса рек Висла, Рейн, Рона, Дунай и других. Наиболее достоверные данные о литогенном загрязнении помещены в таблицу 12.1.

Что же происходит с тяжелыми металлами на приустьевых участках рек? Экспериментальные исследования сорбционного равновесия между водой и донными осадками в эстуарной зоне показали [4]: если процесс абсорбции происходит в морской воде, то осадок (песчаные фракции) терял до 30% меди, свинца и 60% цинка при соотношении десорбирующего раствора 50:1. В тоже время, с песка насыщенного ионами металлов в пресной воде медь и свинец практически не смывались морской водой, цинка терялось 20%. Для глинистых осадков равновесие по свинцу наступало через трое суток, что освобождало всего 0,3–,5% его содержания в грунте. Отмечено также, что сорбционные способности грунтов в значительной сте-

Таблица 12.1

Литогенное загрязнение при устьевых участках рек

Государ-

ство

Река Загрязня-

ющие эле-

менты

Источник

Англия Эклесбурн Pb, Zn, Cd Мо р и а рт и Г. ,

Хансон Н. [134]

Бельгия Гел Pb, Zn Мо р и а рт и Г. ,

Хансон Н. [134]

Греция Акнос, Альякмон Pb, Zn, Mn,

Cr, Cd

Саманидо с В.

[140]

Индия Ганг, Брахмапутра,

Годовари, Кришна,

Кавери, Рушакуля

Pb, As Сабраманиан В.

и др. [139]

Япония Реки центральных

Островов

Ni, Co Накамура Фу-

мио и др. [135]

150 Гидрогеология прибрежной зоны

пени зависят от содержания органических веществ. В другой работе [124] отмечается, что распределение кадмия между различными формами его нахождения зависит только от концентрации хлоридов в воде, то есть от степени распреснения.

Тяжелые металлы, выносимые течениями за пределы области смешения пресных и морских вод, ведут себя по разному. В условиях постоянной солености мышьяк, железо и марганец связаны с глинистыми фракциями, кадмий и медь с концентрацией общего органического вещества. Кобальт может мигрировать из воды в донные осадки, сорбируясь на частичках окиси марганца. В бескислородной среде окись марганца восстанавливается и концентрации кобальта в воде могут увеличиваться в четыре раза.

Другими видами загрязнения приустьевых частей рек могут быть –бактериальное (сброс хозяйственно-фекальных вод), азотное и фосфорное (подземный и поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий), нефтепродукты (транспорт) и другие.

Повышенная проницаемость аллювиальных отложений позволяет загрязняющим веществам быстро достигать зоны разгрузки в дельтах, эстуариях и конусах выноса рек. В этом случае концентрации загрязняющих веществ будут определяться главным образом параметрами разбавления. Специальные работы по контролю за качеством и моделирование процессов загрязнения подземных вод, приуроченных к аллювиальным отложениям показали следующее.

Наблюдательные скважины часто дают искаженную информацию по той причине, что в условиях резкой анизотропии проницаемости загрязняющие компоненты их попросту минуют [137]. Наиболее надежным следует считать прямые методы исследований.

В ын осн ит ра то в иф ос фо ра вб ух ты э ст уа ри и из ал ив ы

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». Последствия загрязнения наиболее явно проявляются в замкнутых водоемах, приемниках поверхностного и подземного стока. Характер загрязнения водоемов зависит от типа разгрузки подземных вод. Субмаринный источник можно сравнить с отдельным подводным выпуском сточных вод. Турбу-
Глава 12. Подземные воды и экология... 151

лентное перемешивание, течения и волнение создают условия быстрого разбавления загрязненных вод. В результате локальные очаги загрязнения оказывают меньшее влияние на общую экологическую обстановку в водоеме, чем другие виды разгрузки.

Рассредоточенная разгрузка проявляется на значительных площадях. Накопление агентов загрязнения происходит постепенно, изменяя состав поровых вод донных отложений и придонного слоя.

Сравнивая два типа попадания загрязнений в водоем, мы, априори, посчитали, что второй тип более опасен, чем первый. На самом деле однозначного ответа на этот вопрос нет. Всё обстоит гораздо сложнее. Например, представим что концентрации загрязняющих веществ при обоих типах разгрузки не достигают порога экологической толерантности для гидробионтов. Ситуацию можно было бы назвать благополучной. Однако, еще недостаточно изучены негативные последствия длительного воздействия среды с низким уровнем химического загрязнения на биоту. Чаще всего в этих случаях ориентируются на тест-организмы. Так, по мнению К.М. Хайлова [92, 93] многочисленные представители фитобентоса в условиях антропогенного воздействия выполняют в прибрежной зоне ту же роль, что и наземная растительность, а отдельные представители водных растений могут служить индикаторами присутствия агентов загрязнения. В частности, они хорошо реагируют на присутствие нитратов.

Повышенные концентрации нитратов в подземных водах зафиксированы на многих участках морских побережий. В нижнерейн-

ской бухте в аллювиальных водах обнаружены концентрации нитратов 41–9 мг/л. В прибрежной зоне штата Делавер (США) питьевые воды содержат их 10–0 мг/л. В дельте реки Эбро (Испания) концентрации нитратов в подземных водах достигают ураганных значений – около 1000 мг/л. Распресненная зона с высокими концентрациями нитратов обнаружена даже в бухте одного из островов Гавайского архипелага.

Рассмотрим более подробно два случая субмаринной разгрузки пресных подземных вод, загрязненных нитратами и влияние этого процесса на развитие макрофитов.

Первый случай. Изучение разгрузки проводилось в лагуне, расположенной в южной части западного побережья Австралии, в окрестностях г. Перт [129]. Размеры лагуны составляют: длина 152

Гидрогеология прибрежной зоны
7,9 км, средняя ширина 3,2 км, средняя глубина 8,8 м, с учетом 0,7-метровых полусуточных приливов. Основным источником загрязнения подземных вод в области питания являются различные отстойники и вносимые в почву удобрения.

Разгрузка пресных подземных вод происходит вдоль всей линии берега лагуны, в том числе на литорали, поверхность которой сложена разнозернистыми песками. У подножья клифов разгрузка осуществляется из трещинноватых пород карбонатного состава. Величина разгрузки для всего водоносного горизонта, протягивающегося на 80 км вдоль побережья оценивается в $180 \cdot 10^6$ м³/год. В пробах, отбираемых в области литорали и в акватории лагуны с борта научно-исследовательского судна определялись нитраты, силикаты и соленость. Результаты исследований показали, что нитратов и силикатов в 2–,5 раза больше в области разгрузки подземных вод по сравнению с фоновыми и значения их концентраций хорошо коррелируются с соленостью (рис. 12.1). В течение 29-месячного опробования отклонения относительно средних величин концентраций составили 10–2 %, то есть были равны сезонным вариациям.

Неоднородность поля солености и участки распреснения – около 3 метров на поверхности лагуны объясняются функционирова-

Рис 12.1 Зависимость концентраций C (μM) нитратов и кремния от солености воды S (‰) в зоне субмаринной разгрузки подземных вод в лагуне г. Перт (Австралия) [129].

нием субмаринных источников, грифоны которых приурочены к выходам на дне карбонатных пород.

Кривые, характеризующие изменение солености по мере удаления от уреза аппроксимируются зависимостью вида:

, (12.1)

где S_0 – фоновая соленость 35,83 ‰, X – расстояние зоны распределения от уреза, S – соленость разгружающихся вод. Величина субмаринной разгрузки в лагуну оценивается в 4,8-10 м³/сут, а фронт распределения находится в 1600 метрах от берега.

Для определения площади, занимаемой макрофитами, использовались данные аэрофотосъемки и подводные исследования. Как выяснилось, на субприливных участках доминируют бурые водоросли *Ecklonia radiata*. На дне лагуны они занимают 17,2 % площади и еще на 19,1 % распространены водоросли *Posidonia australis* и *Amfibolis*. Остальная часть дна лагуны покрыта песчаными отложениями. Сухая биомасса водорослей составляет в среднем 0,35 кг/м², из которых 1,5 % приходится на азот. Общий приток питательных веществ в лагуну (NO_2 , NO_3 и NH_4) с подземными водами обеспечивает 48 % или 208 кг/сут потребляемого количества азота для развития макрофитов. За счет их отмирания в пределы лагуны дополнительно поступает от 29 до 69% азотистых соединений, а в зоне литорали от 17 до 19%. Таким образом, в лагуне сохраняется определенный баланс поступления и потребления нитратов и буйного развития макрофитов и фитопланктона не отмечается. Хорошие показатели развития макрофитов способствуют успешному рыболовству и высокопродуктивному лову омаров.

Обратим внимание прежде всего на качество исследований, какие может себе позволить достаточно богатое государство (почти 2,5 года комплексных режимных наблюдений). Вырисовывается также благополучная на первый взгляд картина. Но, как отмечают сами авторы, настораживает постоянный рост концентраций нитратов в подземных водах, связанный с урбанизацией в области питания водоносного горизонта. Соответственно, увеличивается их содержание в зоне субмаринной разгрузки. Баланс нитратов в лагуне легко может быть нарушен и за этим последует быстрая эвтрофикация водоема.

Второй случай. Субмаринная разгрузка подземных вод в 10– 50 л/сут зафиксирована в районе острова Лонг-Айленд (Нью-Йорк).

Сам остров может служить примером высокой урбанизации при- морских территорий –здесь проживает около 4 миллионов человек.

Подземные воды –единственный источник водоснабжения. Верхняя часть разреза в районе Лонг-Айленда представлена гляциальными отложениями мощностью 30–0 м в виде супесей и песков, от мелкозернистых до гравелисто-галечных. Средние концентрации нитратов в подземных водах этих отложений достигают 100 мг/л.

В 1982–983 годах морским научно-исследовательским центром Нью-Йоркского университета в Большом Южном заливе проводилось изучение субмаринной разгрузки и содержания нитратов в современных морских осадках [123]. Поровые растворы изучались по профилям с глубиной отбора колонок грунта 40 см. В большинстве точек в зоне разгрузки подземных вод отмечено увеличение концентраций нитратов с глубиной при одновременном уменьшении солености (рис. 12.2).

Связь между ними выражается прямой линией с коэффициентом корреляции равным 0,925. Объемы поступающих в залив азот-

Рис 12.2 Характерные изменения солености S (‰), содержания аммиака и нитратов (в миллимолях) в поровых водах донных отложений с глубиной.

Глава 12. Подземные воды и экология... 155

ных соединений, наряду с другими видами загрязнений, разрушают сложившиеся донные экосистемы, стимулируя развитие одних и подавляя другие виды фитобентоса. Об опасности употребления в пищу морепродуктов добытых в этом районе неоднократно предупреждали санитарные службы штата.

Из приведенных материалов однозначно следует, что неконтролируемое загрязнение в области питания водоносных горизонтов, разгрузка которых осуществляется в прибрежной зоне, неизбежно приводит к тяжелым экологическим следствиям, в первую очередь для бентосной флоры и фауны.

В ли ян иет ок си че ск ихв ещ ес твн а г ид ро би он то в.

Спектр химических веществ и соединений, выносимых подземными водами в прибрежную зону чрезвычайно широк. Воздействие этих веществ на морскую биоту можно относить к одному из четырех классов токсичности: канцерогенность, мутагенность, терратоген-

ность и общий токсический эффект. Сохранение токсических свойств химических веществ в природных водах значительно варьирует по времени – от часов до десятилетий. За точку отсчета можно принять предложенную Американско-Канадской ассоциацией морских биологов цифру в восемь недель, то есть стойкими считать те вещества, периоды полураспада которых превышают этот срок [82].

Высокая степень разбавления подземных вод в областях рассредоточенной разгрузки приводит к снижению концентраций токсических веществ в придонном слое. Однако это вовсе не означает, что они перестают представлять опасность. Многие гидробионты обладают способностью накапливать вредные вещества в количествах, превышающих фоновые их значения в сотни и тысячи раз. В первую очередь это касается ряда моллюсков, являющихся так называемыми организмами-фильтраторами.

По данным Д.Куллини содержание ДДТ в тканях устриц, по сравнению с окружающей средой, возрастает в 7 тысяч раз [53]. Проведение специальных экспериментов с контрольными замерами позволило установить, что содержание в устрицах кадмия и ртути за шесть-семь недель увеличивается в 750–16 раз. Аналогичной способностью обладают мидии и морские гребешки (рис. 12.3). Теоретически, концентрации некоторых токсических веществ в мидиях могут превышать фоновые в 20 тысяч раз.

156 Гидрогеология прибрежной зоны

Одной из важных особенностей распространения соединений ртути в прибрежной зоне является ее способность накапливаться в донных отложениях. Подтверждением может служить обстановка, сложившаяся в Гуннеклеив-Фьёрде (Норвегия), где в результате сбросов промышленных вод заводом, производящим хлор, концентрации ртути в донных осадках достигают 350 мкг/кг. Это в два раза превышает уровень загрязнения в печально известном заливе Минамата (Япония), где сотни людей пострадали от употребления морепродуктов, содержащих ртуть [27]. По данным, приводящимся в этом же источнике, ртутное загрязнение прибрежной зоны и шельфа имеет также серьезные экономические последствия. В Швеции пришлось прекратить промысел рыбы в сорока районах, запрещен лов рыбы в ряде участков побережья Финляндии, Норвегии и 17-ти штатах США.

Тенденции к накоплению в донных осадках имеют и другие тя-

железные металлы. Гидробионты, живущие на дне неизбежно подвергаются их воздействию. Активность накопления для разных гидробионтов неодинакова, у моллюсков она определяется размерами и, вероятно, связана с их ростом. Содержание элементов в телах и ра-

Рис 12.3 Накопление свинца в тканях мидий в зависимости от концентрации его в морской воде [27].

Глава 12. Подземные воды и экология... 157

ковинах черноморской мидии (*Mytilus galloprovinciales*) по данным большой выборки показано в таблице 12.2.

Таблица 12.2

И н т е р в а л с о д е р ж а н и я х и м и ч е с к и х э л е м е н т о в т е л а х и с т в о р к а х Ч е р н о м о р с к о й м и д и и в % о т с у х о г о в е с а

(по Ю.П. Хрусталеву, В.М. Морозову, С.Я. Черноусову[94]).

Fe Mn Cu V

тела створки тела створки тела створки тела створки

0,045 0,068- 0,0137 0,0870- 0,0196 0,00207 0,00103 0,00266

0,013 0,010 0,0018 0,0080 0,0020 0,00059 0,00022 0,00108

изменчивость

3,5 6,8 7,6 10,9 9,8 3,5 4,7 2,4

Преимущественно в створках Преимущественно в телах

Поскольку медь влияет на внутриклеточные окислительные процессы, ее содержание в тканях мидий в среднем в 3-7 раз выше, чем в раковинах. Концентрации этого элемента в донных осадках и телах мидий близки по значению и составляют соответственно 0,0042 и 0,0048%. Железа в телах мидий накапливается в 19 раз меньше, чем в планктоне и в 34 раза меньше, чем в осадках. Для марганца эти цифры равны 17,5 и 11,3, для ванадия накопление в телах в 10 раз меньше, чем в осадках.

Изучение мидий проводилось в северо-западной части Черного моря Хрусталевым Ю.П. и др. Отмечая распределение содержания элементов в телах и створках, эти исследователи [94] указывают на их общее уменьшение по мере удаления от берега. Причину такой тенденции они видят в уменьшении взвешенного вещества и загрязнений поступающих с речным стоком. Это предположение не учитывает того обстоятельства, что на полуострове Тарханкут и на примыкающих к нему побережьях поверхностный сток полностью отсутствует и увеличение концентраций ряда металлов в объектах наблюдения можно связать только с субмаринной разгруз-

кой подземных вод. По нашим данным в осадках бухты Очеретай и ряда других бухт содержание меди в 2,4, железа в 1,3 а ванадия в 3,5 раз выше фоновых.

Влияние геохимического фона на накоплении в мидиях тяжелых металлов изучалось нами в южной части Керченского полуострова.

158 Гидрогеология прибрежной зоны
Сбор материала осуществлялся непосредственно у газифицирующей воронки, в области слабой субмаринной разгрузки пресных подземных вод и фоновых осадков на расстоянии 150–200 метров от неё. Объем биомассы на этих участках отличался в 3–4 раза, размеры раковин у воронки составляли 3–4 см, а на фоновом участке 7–9 см. В качестве эталонного использовался археологический материал античного города Киммерик. Слои в раскопе, датированном I веком нашей эры, содержали раковины размерами 7–10 см [114]. Город Киммерик располагался в полукilометре от места сбора мидий. Используя археологический материал мы полагаем, что вряд ли древним грекам имело смысл добывать мидии в другом месте и доставлять этот скоропортящийся продукт издалека, когда он в изобилии имелся рядом с домом. Вторым аргументом в пользу археологического материала было то, что уровень техногенного загрязнения в первом веке нашей эры можно принять равным нулю.

Результаты спектрального анализа створок показали, что содержание элементов в створках мидий, отобранных на фоновом участке и археологическом раскопе в принципе идентично. В пределах влияния воронки в створках отмечено повышенное содержание меди, никеля, хрома, марганца и железа. По результатам количественного рентген-флуоресцентного анализа того же материала, повышенное содержание меди, никеля и железа фиксировалось в створках угнетенных организмов, в створках фоновых отмечалось появление бора и стронция (табл. 12.3). Минералогический анализ тяжелой фракции донных отложений свидетельствует о преобладании в ней терригенного материала с повышенным содержанием в пределах воронки оксидов железа (лимонит, гематит и др.) Фракции размером более 0,5 мм полностью представлены обломками раковинного материала.

В дополнение к результатам наблюдений можно сказать, что раковинный материал, в отличие от тканевого, показывает более стабильное накопление элементов, не зависящее от кратковременных изменений гидродинамической и экологической обстановки. Кроме

того, мидии в качестве организмов индикаторов широко используются в Европе и США для проведения так называемого мидиевого мониторинга прибрежной зоны.

При внешней привлекательности мидиевого мониторинга, его результаты не всегда однозначно отражают действительное состо-

Глава 12. Подземные воды и экология... 159

яние окружающей среды. Имеется ввиду, что содержание элементов в телах мидий в процентах к общей массы –довольно грубая оценка. Токсиканты по разному накапливаются в тканях, почках, печени и т.д. Практически невозможно точно определить периоды полувыведения токсикантов из организма. По экспериментальным данным они составляют для кадмия 307–254 суток, селена 63–1, цинка 48–6, кобальта 57–2. Кроме того, в определении периодов полувыведения не учитываются ситуационные изменения гидрохимической обстановки, неизбежно происходящие за столь длительный период. Таким образом результаты анализа отражают некий средний показатель загрязненности за период между сбором образцов, который по существу является фиктивной величиной. И это не единственное допущение. Гидробиологи установили, что независимо от состояния среды мидии накапливают в телах и створках до 11 тяжелых металлов (железо, медь, кобальт, марганец, молибден, ванадий, селен, никель, цинк, хром и олово), которые играют важную роль в функционировании ферментов. Одновременно мидии сорбируют и другие тяжелые металлы, обладающие высокой токсичностью, например, ртуть, кадмий, свинец –положительные биологические реакции которых неизвестны. Но и это еще не

Таблица 12.3

Результаты анализа проб мидий *Mytilus galloprovinciales* в археологических пробах (гг).

Элемент

Место отбора

в области разгрузки фоновые археологические

Fe 2,222±0,88 1,351±0,056 1,646±0,084

Ni 1,5·10⁻³±0,3·10⁻⁵ 0,00 0,00

Cu 0,248±0,015 0,096±0,001 0,066±0,007

Cr 1,260±0,020 -0,00

Br -0,75·10⁻³±0,6·10⁻⁵ 0,00

$Sr - 0,942 \pm 0,012$ – Примечание: величины, приведенные в таблице, показывают средние значения по 20 образцам в каждом месте отбора.

160 Гидрогеология прибрежной зоны

все. Цитируем уже упоминавшуюся работу С.А.Герлаха [27]:

«...при оценке степени загрязнения прибрежной зоны следует соблюдать разумную осторожность, учитывая, что для выживания того или иного вида решающее значение имеет его толерантность в наиболее чувствительной стадии развития». Для мидии это личиночная стадия. Личинки переносятся течениями на большие расстояния, попадая в поля загрязнения от разных источников, учесть которые невозможно. Иными словами мониторинг с использованием мидий в качестве тест-организмов весьма непросто.

Специальных исследований, посвященных воздействию загрязняющих веществ в областях разгрузки подземных вод практически не проводилось (исключая случаи загрязнения нитратами). Вероятно, это происходило вследствие того, что в условиях прибрежной зоны такой источник загрязнения считался второстепенным, имеющим подчиненное значение по сравнению с поверхностным стоком, канализационными сбросами, аварийными промышленными выбросами и другими мощными очагами загрязнения. Последствия же, обусловленные субмаринной разгрузкой загрязненных подземных вод не становились от этого менее тяжелыми. Очевидно, правильной было бы рассматривать комплекс причин, приводящий к ухудшению существования бентосных организмов на том или ином участке, оценивая удельный вес каждого источника загрязнения, а также состав токсикантов и пути их миграции.

В этом плане интересны работы, посвященные изучению влияния широкого спектра загрязнений на примере достаточно распространенной черноморской водоросли *Cystoseira Barbata*. Длительные наблюдения за ее развитием убедительно показали, что воздействие повышенного содержания токсических веществ приводит к её угнетению, изменяет плотность зарастания отдельных участков дна, что в конечном итоге отражается на видовом составе макрофитов [54, 72].

В тканях водорослей, помимо повышенного содержания нитратов и фосфора, обнаруживаются повышенные концентрации металлов: никеля, цинка, свинца, меди и других. Распределение металлов в самой цистозире подчиняется некоторым закономерностям. Цинк обнаружен во всех компонентах водоросли, медь и свинец связаны с фрак-

цией, включающей в себя нерастворимые альгинаты, а 50–5% марганца и 40–5% кобальта связаны с белковой фракцией.

Глава 12. Подземные воды и экология... 161

Проведенные нами работы в области слабой субмаринной разгрузки подземных вод (сульфатные воды с минерализацией 9,8– 16.0 г/л) в районе с.Приветного (Крым) позволили увеличить круг тест-организмов с одновременной оценкой общего геохимического фона. Результаты анализов показывают (См.таблицы 12.4, 12.5), что по накоплению большинства металлов и брома лидируют *Enteromorpha* и *Cystoseira*, опережая даже организмы фильтраторы. Доминирующие элементы подчиняются зависимости $Br > Mn > Cu > Ni > Zn$. Накопление макрофитами тяжелых металлов в бухте, примыкающей к району добычи и переработки полиметаллических руд (Японское море) по данным Евтушенко З.С. иллюстрирует таблица 12.6. Накопление металлов различными макрофитами происходит неодинаково. Более всего заметно накопление цинка, затем меди и свинца. Автор отмечает, что основную роль в адаптации бурых водорослей к токсическому действию тяжелых металлов играют альгинатовые кислоты [39].

Почти все бурые водоросли плохо переносят даже сильно разбавленные бытовые стоки. В настоящее время отмечено исчезновение бурых водорослей *Cystoseira* на значительных участках Адриатического моря. Вблизи крупных городов изменяется видовой состав и плотность макрофитов. Так, в районе Марселя исчезли многочисленные колонии *Posidonia*, а вместо нее широко распространились водоросли *Ulva* и *Halopteris*. Особую чувствительность макрофиты проявляют к детергентам –в прибрежных районах при концентрации этих веществ более 0,1 мг/дм³ они исчезают.

Приведенные примеры можно было бы продолжить. Особую тревогу вызывает усиливающееся загрязнение прибрежной зоны, являющейся самой биологически продуктивной частью Мирового Океана. Имеющийся опыт показывает, что с одного гектара морских угодий можно получить 84,4 центнера устриц (Япония), 44 тонны мидиевого мяса (США). В Калифорнийском заливе ВМС США проводят крупномасштабные опыты по культивированию бурых водорослей с целью получения спиртов и углеводов с низким молекулярным весом, которые могут заменить дизельное топливо и компоненты нефти при производстве пластмасс.

162 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 12.4

Результаты рентгенофлюоресцентного анализа (фитобентоса) Судакский район Приветное

Тест организм Mn Ni Cu Zn As Br Sr Pb

Образцы *Cystoseira Barbata*, отобранные

в области разгрузки 0,980 0,390 0,517 0,068 0,104 5,893 2,448 0,154

Фоновые образцы *Cystoseira Barbata*

0,490 0,0 0,200 0,020 0,055 2,174 4,652 0,063

Образцы *Enteromorpha ulvaceae*,

отобранные в области разгрузки 1,369 0,436 0,798 0,241 0,054 7,877 0,512 0,0

Фоновые образцы *Enteromorpha*

ulvaceae 0,355 0,089 0,115 0,0 0,0 1,003 0,190 0,0

Образцы *Cladophora C.*, отобран-

ные в области разгрузки 0,720 0,217 0,314 0,200 0,056 4,506 0,418 0,0

Фоновые образцы *Cladophora C.* 0,694 0,058 0,119 0,020 0,037 3,031 0,434 0,0

Глава 12. Подземные воды и экология... 163

Таблица 12.5

Результаты спектроанализа пробы из района заградительного дамбы в подземных водах грунтов прибрежной зоне (выборка 5) Судакский район Приветное.

Объект Cu

10⁻³

Pb

10⁻⁴

Co

10⁻⁴

Ni

10⁻⁴

Zn

10⁻³

Mo

10⁻⁵

Cr

10⁻⁴

Ti

10⁻²

St

10⁻⁴

Mg

10-1

Mn

10-3

Ga

10-4

Fe

10-1

Ca

10-1

Cystoseira Barbata 1,3 63 6,3 20 1 5 15 10 1 40 100 1,5 6,3 200

Cladophora C. 1,2 40 8,0 2,0 1 6,3 20 8 1,2 25 120 1,0 3,2 150

Enteromorpha ulvaceae 0,5 20 -28 1 5 8 0,63 1,2 120 32 1,0 8,0 40

Mytilus gallopro v.

(фон) 0,4 6,3 -8 --8 0,63 -2,5 6,3 1,0 1,5 320

Mytilus

galloprov. 5,0 4,0 -10 --8 6,3 -2,0 15 -6,3 320

Подземные воды (J₂)

(сухой остаток) 1,5 2,5 -3,2 --5 0,2 -100 0,5 8 0,5 200

Песок крупнозерни-

стый 2,0 15 15 63 8 15 63 32 4 8 80 8 40 50

Суглинок 3,2 20 20 63 10 15 80 25 5 8 63 10 40 50

164 Гидрогеология прибрежной зоны

Таблица 12.6

Н а к о п л е н и е с в и н ц а , ц и н к а и м е д и в б у р ы х е о д о р о с л я х
Я по н с к о г о м о р я [39].

Вид

Содержание металлов (мкг/г)

сухой массы

свинец цинк медь

Загрязненный участок

Fucus evanesera -870 6,8

Polvetia wrightii 25,0 275,0 8,8

Laminaria japonica 18,8 27,5 3,3

Cystoseira crassipes 35,0 163,0 5,0

Costaria costata 31,3 400,0 5,5

Контрольный участок

Laminaria japonica 15,0 48,8 3,8

Cystoseira crassipes 31,3 49,3 2,5

Costaria costata 26,3 52,5 3,5

З а к л ю ч е н и е

Известный французский океанограф Жак Ив Кусто в беседе с одним из авторов подтвердил, что видит цель своей жизни в защите Океана. Именно так, Океана с большой буквы. По его мнению, масштабы воздействия человека на водную среду и биоту приняли угрожающие размеры, а масштабы воздействия имеют глобальный характер. Обоснованность суждений Кусто подкреплялась не только его личными наблюдениями в ходе многочисленных экспедиций, но и информацией, поступающей со всего мира в Океанографический институт в Монако, где он долгие годы работал. Основные объемы исследований Жака Ив Кусто приходились на прибрежную зону – глубины, доступные для работы с аквалангом. Наш разговор состоялся более тридцати лет назад, но с того времени мало что изменилось. Пожалуй, тенденции к ухудшению общей ситуации даже усилились.

Говоря об угрожающих масштабах воздействия антропогенного прессинга Кусто был безусловно прав. Отдельные формы этого воздействия уже приняли необратимый характер. Например, регулирование поверхностного стока резко уменьшило поступление грубообломочного терригенного материала в прибрежную зону. В результате нарушился естественный баланс вдольбереговых потоков наносов, усилились процессы абразии, нарушилась устойчивость многих ранее стабильных аккумулятивных образований (пляжей, кос, пересыпей и других). В Крыму и Приазовье не только полностью зарегулирован речной сток, но и частично балочный. Не менее серьезно нарушен и естественный режим подземных вод. Радиусы воронок депрессии крупных водозаборов достигли десятков километров. В то же время, за счет утечек из Северо-Крымского канала и оросительных систем подтоплены громадные территории. Ряд приморских городов испытывает серьезные затруднения с водоснабжением (Ялта, Севастополь, Феодосия). В акватории прибрежной зоны продолжается сброс неочищенных или плохо очищенных промышленных, коммунальных и ливневых стоков, дренажных вод оросительных систем. Весь этот комплекс проблем уже не решить с помощью одних лишь запретительных мер, хотя они объективно необходимы. Нужна серьезная перестройка всей хозяйственной дея-

тельности на побережьях, с приоритетом безотходных и малоотходных технологий, четкого соблюдения природоохранного законодательства, продуманной и научно обоснованной хозяйственной политики. Как бы не были очевидны и даже банальны эти решения и сколь бы дорого они не стоили, выполнять их придется.

Загрязнение подземных вод в области питания весьма распространенное явление. Чаще всего оно ассоциируется с сельским хозяйством, как например на западном побережье Австралии и восточном побережье Испании. В Крыму вопиющим примером нарушения водного законодательства является хозяйственная деятельность на вершине горы Ай-Петри. Ай-Петринская яйла – область питания верхнеюрского водоносного горизонта. Массовое посещение вершины Ай-Петри туристами по канатной дороге и автотранспортом стимулировало многочисленных предпринимателей к строительству на плато заведений общественного питания и даже аттракционов. При этом полностью проигнорированы санитарные нормы и правила. Подземные карстовые воды имеют крайне низкую способность к самоочищению, поэтому для населения Байдарской, Варнаутской котловин и частично г. Севастополя, реально существует угроза развития эпидемиологических ситуаций. Большая часть города Севастополь получает воду из Чернореченского водохранилища питаемого поверхностным (р. Узунжа) и подземным (Скельский источник) стоком с Ай-Петринского массива. Одновременно будут погублены кристально чистые воды субмаринных источников мыса Айя – потенциальный резерв водоснабжения Севастопольского района. В отличие от поверхностных вод, где активно действуют процессы самоочищения, загрязнение водоносных горизонтов приводит к более серьезным последствиям. Они на долгое время, сопоставимое с периодом полураспада загрязняющих и токсических веществ, становятся не пригодными к эксплуатации. Сорбционные свойства водовмещающих пород способствуют задержке и накоплению токсикантов, усиливая кумулятивный эффект их воздействия. Для регионов с напряженным водным балансом, испытывающих нехватку пресной воды, даже небольшое сокращение естественных ресурсов приводит к возникновению кризисной ситуации.

Посвятив несколько глав пресным субмаринным источникам, мы практически ничего не сказали о способах их каптажа. Разноо-

Заключение 167

бразие морфологических форм субмаринных выходов столь велико, что в каждом конкретном случае должно приниматься отдельное техническое решение. Это самостоятельная тема, относящаяся более к области гидротехнических сооружений, нежели к гидрогеологии. Мировой опыт каптажа субмаринных источников сравнительно невелик и получил развитие главным образом в странах Средиземноморья. Многочисленные неосуществленные, часто оригинальные в техническом отношении проекты, в том числе проект НИПИ Океанмаш по мысу Айя в Крыму, нуждаются в научном обосновании и всесторонней экспертизе. Таким образом, тему каптажа предпочтительно выделить в отдельную публикацию, сопроводив ее расчетными технико-экономическими схемами, типизированными вариантами организации водоснабжения приморских объектов.

Говоря о продуманности природоохранной политики, обратим внимание на тот факт, что вопреки здравому смыслу ряд лимитирующих нормативов в Украине по токсическим веществам установлен более жестким чем в Европе (нормативы ЕС), США и Канаде. Непонятно также зачем внедрять собственные, далеко несовершенные и не экспрессные методы контроля (например биотестирование), когда за рубежом уже более 30 лет разработаны и успешно применяются более совершенные и надежные. Помимо существенных материальных затрат закономерно появляются трудности с их метрологическим обеспечением, сопоставлении отечественных и международных стандартов. С последними так или иначе приходится считаться, поскольку Украина подписалась под международной конвенцией по защите Черного моря от загрязнения (Бухарест, 1996). Мы не отрицаем, что в области законодательства за годы независимости Украины проделана огромная работа. Мы не призываем слепо копировать зарубежный опыт. Мы лишь призываем к большей продуманности и предварительной апробации решений, имеющих общегосударственное значение. Призыв обращен главным образом к разработчикам нормативов и научной общественности, от творческой активности и гражданской позиции которой в немалой степени зависит экологическое благополучие окружающей среды.

Решая сегодняшние задачи освоения побережий, следует учитывать и долгосрочные перспективы их развития. Если прогнозы глобального потепления климата на планете верны, то в ближайшие де-

сятилетия следует ожидать значительный подъем уровня Мирового океана. Как это отразится на морских побережьях? Вполне очевидно, что произойдет затопление низменных участков суши, увеличатся масштабы интрузий морских вод, будет отмечаться рост уровней подземных вод за счет подпора, усилятся процессы абразии. Борьбу с нарастанием негативных явлений каждому государству придется вести в одиночку, исходя из своих экономических и технических возможностей. Для проведения эффективных защитных мероприятий потребуются ученые и квалифицированные специалисты в области береговых процессов. С учетом того, что процесс подготовки ученого занимает не менее 10–15 лет, начинать эту работу следует уже сейчас.

Заканчивая книгу, авторы не могут оставить без внимания еще одно обстоятельство – даже в достаточно большой объем монографии сложно вместить все, заслуживающие внимания результаты исследований. В процессе написания отдельных глав мы старались обратить внимание на малоизвестные или вовсе неизвестные широкому кругу читателей факты, наблюдения и подходы к решению тех или иных задач. Насколько удачно мы это выполнили – судить читателю.

С П И С О К Л И Т Е Р А Т У Р Ы

- 1 Айбулатов Н.А. Вдольбереговое перемещение наносов у отмельных берегов. –М., Наука, 1966. –170 с.
- 2 Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. –Л., Гидрометеиздат, 1990. –274 с.
- 3 Андреев В.М., Глебов А.Ю., Казанцев Ф.А. и др. Геологическое картирование в Черном море.// Разведка и охрана недр, № 8. –2001. –С. 26–0.
- 4 Аникеев В.В., Лисицкая И.Г., Радаев Е.Ф. Экспериментальные исследования сорбционного равновесия для Pb, Cu, Zn между водой и донными осадками эстуарной зоны. 7 Всесоюзная школа морской геологии. Геология морей и океанов. Тез. докл. М., АН СССР, т.3, 1986. –С. 84.
- 5 Арбузов И.А., Юровский Ю.Г. К вопросу об измерении пульсаций температуры при моделировании субаквальной разгрузки подземных вод. В сб. научных трудов Ленинградского Гидрометеорологического института «Методы гидрогеологических исследований». –Л., 1974. –С. 169 – 172. Рукопись депонирована в ВИНТИ 4.04.74. № 835 –74.
- 6 Бадюкова Е.Н., Свиточ А.А. Бич-рок Сейшельских островов. Океанология, XXVI, вып. 5, 1986. –С. 799 –805.
- 7 Байсарович И.М. Субмаринная разгрузка подземных вод в районе мыса

- Айя.// Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Геология. 2002. –Вып. 21–2. –С. 126–29.
- 8 Баском В. Волны и пляжи. –Л., Гидрометеиздат, 1966. –280 с.
- 9 Батоян В.В. О выявлении субмаринной разгрузки подземных вод в пределах Черноморского шельфа. Материалы 2 научной конференции аспирантов и молодых ученых. –М., 1976. –С. 1–. Депонировано в ВИНТИ № 247–6.
- 10 Белоусов В.В. Основы геотектоники. –М., Недра, 1975. –262с., 1989. – 381с.
- 11 Богуславский С.Г. Вертикальный турбулентный обмен в поверхностном слое моря.//Труды морского гидрофизического института АН УССР, Севастополь, №3, 1958. –С. 14–0.
- 12 Боуден К. Физическая океанография прибрежных зон. –М., Мир, 1988. – 324 с.
- 13 Буачидзе И.А., Мелива И.М. К вопросу о разгрузке подземных вод в Черное море в районе г. Гагра. Труды лаборатории гидрогеологических и инженерно-геологических проблем. Грузинский политехнический институт, 1967, №3. –С.17–4.
- 14 Вебер В.В, Туркельбаум С.Б. Газообразные углеводороды в современных осадках. Геология нефти, №8, 1958. –С. 39–4.
- 170 Гидрогеология прибрежной зоны
- 15 Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях. // Шестопалов В.М., Дробноход Н.И., Лялько Б.В., и др. –К., Наукова думка, 1989. –88 с.
- 16 Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. Пер. с англ. – М., Мир, 1968. –368 с.
- 17 Гвоздецкий Н.А. Карст. –М., Мысль, 1981. –214 с.
- 18 Геодекан А.А., Авилов В.И., Троцюк В.А. Интерпретация результатов геохимических исследований Охотского моря. Океанология, №2, 1977. – С. 237–42.
- 19 Геология и геодинамика района Крымской АЭС. –К., Наукова думка, 1992 –188 с.
- 20 Геология, гидрогеология и активность известнякового карста. –Тбилиси, Мецниереба, 1979. –232 с.
- 21 Геология и нефтегазоносность шельфа Черного и Азовского морей. – М., Недра, 1979. –184с.
- 22 Геология СССР. Том VII Крым. –М., Недра, 1971. –364 с.
- 23 Геология шельфа УССР. Лиманы. –К., Наукова думка, 1984. –176 с.
- 24 Геология шельфа УССР. Литология. –К., Наукова думка, 1986 –189 с.
- 25 Геология шельфа УССР. Среда, история и методика изучения. –К., Наукова думка, 1982. –175 с.
- 26 Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые. В разделе: Современные методы оценки субмаринной разгрузки подземных вод. –К., Наукова думка, 1983. –С. 127–35.
- 27 Герлах С.А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. –Л., Гидрометеиздат, 1985. –263 с.
- 28 Гидрогеология СССР. Грузинская ССР. –М., Недра, 1971. –364 с.
- 29 Гидродинамика береговой зоны и эстуариев. –Л., Гидрометеиздат, 1977. –270 с.

- 30 Гирицкий Н.К. Грунтовые потоки в однородных образованиях морских побережий. –Труды лаб. гидрогеол. проблем АН СССР, 1948, т. 3. – С. 180–00.
- 31 Гирицкий Н.К. Напорный поток пресных вод в однородных пластах морских побережий. –Труды лаб. гидрогеол. проблем АН СССР, 1950, т. IX. –С. 164–85.
- 32 Гирицкий Н.К. Фильтрация подземных сильно минерализованных вод и рассолов в море. –Труды лаб. гидрогеол. проблем АН СССР, 1955, т. XII. –С. 3–7.
- 33 Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. –М., Недра, 1984. –262 с.
- 34 Даниленко А.Ф., Рябин А.И. Сульфаты в водах Черного моря. Океанология, том XXVI, №6, 1986. –С. 938 –945.
- Список литературы 171
- 35 Движение подземных вод разных минерализаций. Обзор зарубежной литературы. –М., ВСЕГИНГЕО, вып. 6, ОНТИ ВИЭМС, 1966. –65 с.
- 36 Де Уист Р. Гидрогеология с основами гидрологии суши. Т.1. –М., Мир, 1969. –312 с.
- 37 Джамалов Р.Г. Подземный сток Терско-Кумского артезианского бассейна. –М., Наука, 1973. –96 с.
- 38 Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста альпийской складчатой области юга СССР. –М., Наука, 1984. –128 с.
- 39 Евтушенко З.С. Содержание цинка, меди и свинца в альгинате натрия из бурых водорослей. Океанология, т. XXVI, вып.6, 1986. –С. 933–937.
- 40 Железняков Г.В. Теория гидрометрии. –Л., Недра, 1978. –344 с.
- 41 Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. –М., Изд. АН СССР, 1962. –710 с.
- 42 Зекцер И.С., Джамалов Р.Г., Месхетели А.В. Подземный водообмен суши и моря. –Л., Гидрометеиздат, 1984. –207 с.
- 43 Юровский Ю.Г., Павлов А.Н., Моисеев И. А. и др. Изучение субаквальной разгрузки подземных вод в районе Черноморского побережья Кавказа на полигоне Гагринского массива. –Л., ЛГМИ, 1980. –98 с.
- 44 Ингл Д.Ж. Движение пляжевых песков. –Л., Гидрометеиздат, 1971. – 225 с.
- 45 Казанцев Ю.В. Тектоника Крыма. –М., Наука, 1982. –112 с.
- 46 Каменский М.М. Вопросы прикладной геохимии. –К., Высшая школа, 1974. –154 с.
- 47 Каплин П.А. Новейшая история побережий мирового океана. –М., изд. МГУ, 1973. –231 с.
- 48 Кикнадзе Т.З. Геология, гидрогеология и активность известнякового карста. –Тбилиси, Мецниереба, 1979. –232 с.
- 49 Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Гидрогеология дна мирового океана. – Л., Ленинградский горный институт, 1988. –104 с.
- 50 Кондратьев С.И., Долотов В.В., Моисеев Ю.Г., Щетинин Ю.Т. Субмаринные источники пресных вод в районе мыса Фиолент –мыс Сарыч. // Морской гидрофизический журнал, №3, 1998. –С. 57–9.

- 51 Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский Ю.Г. Гидрогеология шельфовых областей. –Л., Недра, 1980. –216 с.
- 52 Куделин Б.И., Зекцер И.С., Месхетели А.В., Брусиловский С.А. Проблемы подземного стока в моря.//Советская геология, 1971. –С. 72–0.
- 53 Куллини Л. Леса моря. –Л., Гидрометеиздат, 1981. –280 с.
- 172 Гидрогеология прибрежной зоны
- 54 Лазаренко Г.Е., Празунин А.В., Хайлов К.М. Распределение ряда металлов в биохимических составляющих цистозеры из районов загрязнения бытовыми сточными водами. Состояние, перспективы улучшения и использование морской экологической системы прибрежной зоны Крыма. Тез. докл. Конференции Южного научного центра АН СССР. Севастополь, 1983. –С.11–2.
- 55 Лобье Л. Оазисы на дне океана. –Л., Гидрометеиздат, 1990. –156 с.
- 56 Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. –М., Изд. АН СССР, 1963. –379 с.
- 57 Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океана. М., Наука, 1973. –244 с.
- 58 Луцник А.В., Морозов В.И., Павкин В.П., Юровский Ю.Г. Особенности формирования подземных вод в западной части равнинного Крыма (на примере б. Очеретай).//Геологический журнал, 1985, Т.45, №3. –С. 101–07.
- 59 Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.П. Исследование субмаринных источников геотермическими методами. // Геол. журнал, 1980, Т.40, №3. –С. 48–3.
- 60 Максимович Г.А. Подводные карстовые источники морей. Ученые записки Пермского Университета, вып.2. –Пермь, 1957. –С. 83–5.
- 61 Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.1. –Пермь, 1963. –444 с.
- 62 Максимович Г.А., Кикнадзе Т. З. Субмаринные источники Черного моря и некоторых областей Средиземноморья.//Сообщения АН Груз. ССР, т. 47, № 3. –Тбилиси, 1967. –С. 47–8.
- 63 Матушевский Г.В. О предельно возможных высотах ветровых волн в океанах и морях.//Метеорология и гидрология, 1979, №11. –С. 78–2.
- 64 Месхетели А.В., Бергельсон Г.М. Гидрогеологические исследования в акватории оз. Иссык-Куль.//Водные ресурсы, №2, 1989. –С. 70–7.
- 65 Методические рекомендации по гидрогеологическому изучению морей и крупных озер. –М., ВСЕГИНГЕО, 1987. –66 с.
- 66 Миловидова Н.В. Применение методов логики к анализу физико-географических определений и классификаций. –М., Наука, 1981. –104 с.
- 67 Михайлов В.Н. Динамика потока и устья в неприливных устьях рек. – Л., Гидрометеиздат, 1971. –204 с.
- 68 Мельник В.Г., Мойхем П.А., Гасанов М.В., Шальмиев Ш.Х. О биогенном образовании высших газообразных углеводородов. –Баку, Изд. АН Аз. ССР, 1962. –С. 63 –72.
- 69 Огильви Н.А., Семендяева Л.В. Гидродинамическая модель системы артезианских водоносных горизонтов по геофизической информации.//Сб. Подземный сток и методы его исследования. –М., 1972. –С. 88–00.

- 70 Островский А.Б., Зайцев И.Н. Гидрогеологическая типизация переуглубленных речных долин на примере северо-западного и северного Кавказа. // *Водные ресурсы*, №6, 1984. –С. 28 –55.
- Список литературы 173
- 71 Павлов А.Н. Геологический круговорот воды на земле. –Л., Недра, 1977. –134 с.
- 72 Парчевский В.П., Хайлов К.М., Празунин А.В. и др. Влияние хозяйственно-бытового загрязнения на бурую водоросль *Cystoseira spinata* (Def) Borg на популяционном и организационном уровне. Состояние, перспективы улучшения и использования морской экологической системы прибрежной зоны Крыма. Тез. докл. конференции Южного научного центра АН СССР. –Севастополь, 1983. –С. 21–2.
- 73 Подземные воды карстовых платформенных областей юга Украины. – К., Наукова думка, 1981 –200 с.
- 74 Полонский Ф.А. Новый метод прогнозирования процессов формирования устьевых баров и выдвигения конусов выноса рек. Береговая зона моря. –М., Наука, 1981. –С. 148 –156.
- 75 Поровые и субмаринные воды и методы их изучения. –К., препринт ИГН АН УССР, 1986. –66 с.
- 76 Прикажан А., Радович И. Об условиях подпитывания водоносного горизонта в дельте Дуная морскими и континентальными водами и области их разгрузки. // *Бюл. Общества геол. наук Румынии*, 1971. –С. 122 –135.
- 77 Принципы и методы оценки рудоносности геологических формаций. Газогеохимические исследования (зона гипергенеза). –Л., Недра 1985. – 252 с.
- 78 Пропп Л.Н., Обжиров А.И., Пропп М.В. Газовые и гидрохимические аномалии в придонном слое воды в зоне активного вулканизма (залив Плен-ти, Новая Зеландия). // *Океанология*, №4, т. 32, 1992. –С. 680–86.
- 79 Извец В.М., Быкова Е.И., Милова И.Н., Воробьева И.И. Органические вещества в подземных водах и их значение в миграции и концентрации химических элементов. / Роль органических веществ подземных вод и значение в миграции йода, брома и бора (на примере Азово-Кубанского артезианского бассейна). // *Труды ВСЕГИНЕО*, Вып. 33, 1970. –с. 13–6.
- 80 Саенко Г.Н., Зорина Л.Г., Радкевич Р.О. и др. Микроэлементы в заливе Петра Великого. // *Океанология*, 28, № 2, 1988. –С. 322 –30.
- 81 Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке. –М., Мысль, 1978. – 263 с.
- 82 Свейн В.Р. Контроль загрязнения североамериканских великих озер. // *Водные ресурсы*, №3, 1985. –С. 139–47.
- 83 Скварелидзе В.В., Пирумов С.С. Расчет осаждения речных наносов на устьевом взморье и оценка устойчивости конусов выноса. // *Водные ресурсы*, №1, 1982. –С. 120–27.
- 84 Справочное руководство гидрогеолога. Т.1. –Л., Недра, 1979 –С. 143.
- 85 Стевен Л. Седиментация в северо-западной части Адриатического моря. Геология и геофизика морского дна. –М., Наука, 1969. –С.155–74.
- 174 Гидрогеология прибрежной зоны

- 86 Тарасов В.Г., Пропп М.В. Уникальное морское сообщество. // Природа, №2, 1987. –С. 41–9.
- 87 Тимохин В.Г., Островский А.Б. О закономерных изменениях фильтрационных свойств аллювия переуглубленных речных долин Черноморского побережья Кавказа. // Труды ВСЕГИНГЕО, вып 45, 1971. –С. 104–18.
- 88 Тинтилозов З.К. Карстовые пещеры Грузии. –Тбилиси, Мецниереба, 1976. –273 с.
- 89 Троцюк В.Я., Немировская И.А. Нефть и океан. // Природа, №7, 1985. – С. 28 –35.
- 90 Усенко В.В., Щербаков И.Б., Довбыш С.Н. Донные осадки конуса выноса Амазонки и эволюция осадконакопления в позднеплейстоцен –голоценовое время. // Геологический журнал, №1, 20, 2003. –С. 93–8.
- 91 Фёдорова Г.К. Физико-химические процессы в подземных водах. –М., Наука, 1985. –181с.
- 92 Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. –К., Наукова думка, 1971. –252 с.
- 93 Хайлов К.М., Парчевский В.П. Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. –К., Наукова думка, 1983. –253 с.
- 94 Хрусталева Ю.П., Морозов В.М., Черноусов С.Я. Особенности накопления железа, марганца, меди и ванадия в телах и раковинах Черноморской мидии. // Океанология, №8, 1987. –С.934–938.
- 95 Шишкина О.В. Геохимия морских ископаемых иловых вод. –М., Наука, 1972. –228 с.
- 96 Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства моря. –К., изд. «Карбон-Лтд», 2004. –279 с.
- 97 Шнюков Е.Ф., Иноземцев Ю.И., Кутний и др. Литологические особенности донных осадков Джарылгачского залива. Сб. Осадочные горные породы. –К., Наукова думка, 1978. –С. 41–9.
- 98 Штерина Э.Б., Фролова Е.В. Растворимость в системе $\text{CaCO}_3\text{--CaSO}_4\text{--NaCl--CO}_2\text{--H}_2\text{O}$. // Новости химии, т. 11, №7, 1957. –С.1648–654.
- 99 Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. –Л., Гидрометеиздат, 1986. –240 с.
- 100 Эдмонд Д.М., Дамм К. фон. Горячие источники на дне океана. // В мире науки, №6, 1988. –С. 46–0.
- 101 Ноненкова И.А., Свечина Р.М., Андреева З.А., Архангельская З.А. Комплексные геохимические исследования субаквальных площадей. // Экспериментальное изучение процессов преобразования органического вещества прибрежно-морских и озерных осадков в связи с проблемой поисков нефти и газа. –Л., ВНИГРИ, 1985. –С. 18–6.
- 102 Энциклопедический словарь географических названий. –М., Советская энциклопедия, 1973. –804 с.
- Список литературы 175
- 103 Юдин В.В. Магматизм Крымско-Черноморского региона с позиций актуалистической геодинамики. // Минеральные ресурсы Украины, №3, 2003. –С. 18–1.

- 104 Юровский Ю.Г. О некоторых вопросах изучения геологии и гидрогеологии шельфа.//Сб. научных трудов Ленинградского гидрометеорологического института. Вып. 44, 1971. –С. 180–82.
- 105 Юровский Ю.Г. Об оценке величины субмаринной разгрузки подземных вод.//Известия Всесоюзного географического общества, т.105, вып.2, 1973. –С. 174–79.
- 106 Юровский Ю.Г. Исследование процессов активной субаквальной разгрузки подземных вод. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. –Л., 1973. –27 с.
- 107 Юровский Ю.Г. Вопросы моделирования субаквальных источников. Сб. научных трудов ЛГМИ «Методы гидрогеологических исследований». – Л., 1974. –С. 152–68. Рукопись депонирована в ВИНТИ 04.04.74 №835–4.
- 108 Юровский Ю.Г. Подводный карст и методы его изучения. Тез. док. III Всес. Карстово-спелеологического совещания. –М., ВИЭМС, 1982. – С.40–1.
- 109 Юровский Ю.Г. Гидрогеологические исследования в прибрежной зоне моря при изучении субмаринной разгрузки подземных вод (временные методические рекомендации). –Симферополь, Мингео УССР. Институт минеральных ресурсов, 1984. –80с.
- 110 Юровский Ю.Г. Особенности природных процессов в зонах субмаринной разгрузки подземных вод. Автореферат на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. –Киев, 1993. –44 с.
- 111 Юровский Ю.Г. Экология и перспективы развития рекреационных зон Керченского полуострова. Материалы международной региональной конференции «Проблемы экологии и рекреации Азово-Черноморского региона. –Симферополь, Таврида, 1995. –С.236–38.
- 112 Юровский Ю.Г. Субмаринная разгрузка подземных вод в конусах выноса юго-восточного Крыма.//Минеральные ресурсы Украины, №2, 1996. –С. 22.
- 113 Юровский Ю.Г., Лущик А.В., Морозов В.И. Субмаринная разгрузка подземных вод и газов на северо-западном побережье Крыма.// Доклады АН УССР, т.272, №3, 1986. –С. 23–6.
- 114 Юровский Ю.Г., Полканов Ю.А. Биологические индикаторы загрязнения донных осадков в прибрежной зоне морей. Тез. науч.-практич. Семинара Геолого-экологические проблемы Украины. –Днепропетровск, 1992. –С. 71–2.
- 176 Гидрогеология прибрежной зоны
- 115 Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н. К вопросу о субмаринной разгрузке термальных подземных вод. Сб. научных трудов Ленинградского Гидрометеорологического института «Методы гидрогеологических исследований». –Л., 1974. –С. 131–40. Рукопись депонирована в ВИНТИ 4.04.74. № 835 –74.
- 116 Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н. Субмаринная разгрузка трещинно-карстовых вод в юго-западном Крыму.// Геологический журнал, 1986, 46.

№3. –C. 58 –63.

117 Accerboni E., Mozetti F. *Lo calizzazioni dei diffusi d'acqua in mare un conduttometro elettrico superficiale a registrazione continua.* –*Bol. Geol. Appl.*

1967, ann. 4, №36. –P. 130–61.

118 Aleksanderson T. *Mediterranean beach-rock cementation marine precipitation of Mg-calcite. Mediterranean sea.* –*Stradeburg, 1972.* –P. 203–23.

119 Antonio D.P. *Ricope sperimentale sui rapporti tra acqua dolce di falda e acqua salata intrusione marina lungo la costa della Somalia centrale della zona di Jasira.*//*Met. Sei geol.*, 39, 1986. –P. 11–0.

120 Berner, R.A. and Morse, J.W., 1974, *Dissolution kinetics of calcium carbonate in seawater, IV: Theory of calcite dissolution: American Journal of Science*, v. 274. –P. 108–34.

121 Braudo C. J., Mero F., Mercado A. *Submarine spring discharge using radioactive tracers.* –*Proc. ASCE*, 1967, v. 94, NHY– –P. 399–09.

122 Bukuniewicz H. *Groundwater seepage into Great South Bay.* –*NY, Estuarine and coastal marine science*, 1980, vol 10, №4. –P. 437–44.

123 Capone D.O., Bautista M.E. *A groundwater source of nitrate in near shore marine sediment.*// *Nature*, 313, 5999(1), 1985. –P. 214–16.

124 Coutot-Couper I., Cabon J.Y. *Etude des formes physico-chimique du cadmium en milieu marin.* //*Oceanic*, 14, 1, 1988. –P. 117–23.

125 *Environmental Science. An Introduction Second edition.* G. Tyler Miller. Wadsworth Publishing company. Belmont California. –1996. –370 p.

126 Frankel E. *Rate of formation of beach-rock.* //*Earth planet. Sci Let.*, v. 4, 1968. –P. 439–40.

127 Gavian Elieser. *Resent subhas mineral to the coastal of Sinai. Red sea. Supersalinite Drines and evaporite.* *Envir. Amsterdam, e.a.*, 1980. –P. 233–51.

128 Helfrich Stewen. *Boundary effect on pore pressure buildup in loose saturated sand.*//*Proc. Cont., Southampton. 13 July, 1982, vol. 12.* –Rotterdam, 1982. –P. 557–69.

129 Iohannes R.E., Hearn C.J. *The effect of submarine groundwater discharge on nutrient and salinity regimes in a coastal lagoon of Perth, Western Australia/ Estuar coast and shelf sci.*, v. 21, 6, 1985. –P. 789–00.

130 Kohout F. *Submarine springs.* In *The Enciclopedia of oceanography.* –NY., 1966. –P. 878 –883.

Спмсок литературы 177

131 Lanyon J.A. Eliot J.C., Clarc D.J. and others. *Ground water level variation during semidfunal spring tidal on a sandy beach.* //*Australian journal of marine, of fresh water research.* 1982, 33 –P. 377–00.

132 Lesezynski N. J. *Head and flow of ground water of variable density.*//*Journal of Geophysical Research*, 1961, 66, 12. –P. 4247–256.

133 Marinou P., Herman I., Back W., Xidakis G. *Structural control and geomorphic significance of groundwater discharge along the coast of the Mani Peninsula, Peloponnes, Greece.* *IANS publ. Varinos Panl.*, 161, 1985. –P. 481–95.

134 Moriarty G.M., Hanson N.M. *Heavy metals in srdiment of river Ecclesbourne,*

- Derbyshire. // Water. Res., 1988. –22, N4. –. 475–480.*
- 135 *Nakamura Fumio, Magara Yashimoto, Nishio Yoshihiro. Nature. // J. Jap. Waterwork assoc. Cyigo Kekai gzaccuu. 1988. –57, N3, –P. 26–5.*
- 136 *Okusa Shigeyasu, Ushida Atsushi. Pore water pressure cheng in submarine due to wave/ Mar. geotehnl., 1989, 4. –P. 445–61.*
- 137 *Osiensky J.L., Winter G.V., Williams R.E. Monitoring and mathematical modeling of contaminated groundwater plume in fluvial tnvironments. Graundwater, 22, 3, 1984. –P. 298–06.*
- 138 *Pakwood A.R. The influence of beach porosity in wawe up rush and backwash. Coast enginiring, 7, 1983, Amsterdam. –P. 29–0.*
- 139 *Sabramanian V., Vangriken M. and other. Transport and fractionation of Pb in river sediments from the Indian Sub-continent. // J. Geol. Soc. India, 1987. – 30, N3, –P. 279–85.*
- 140 *Samanidos V. Furianos in sediments from river in Northern Greece. // Sci.total Environ., 1987. –67, N2–, –P. 279–85.*
- 141 *Shverdfeger B.K. Jn the occurrence of submarine fresh water discharges. Geol. Jarbuh. Hannover, 1981. –P.231–40.*
- 142 *Sirin Ante. The freashiability of control overpumping in the Nile Delta. Tez. doklada 28 geologicheskogo kongressa, tom Y11, sekcija 16. –M., Nauka, 1984. –C. 504.*
- 143 *Soulios G. Systeme karstique aquifere d' Almyros Yraclio, Gete (Grece): uncas interresant de systeme littoral.//Bul. Cont. Hydrogeol., 7, 1987. –P.169–91.*
- 144 *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers/ National Speleological Society, Inc. Huntsville, Alabama, U.S.A. January 2000 Edition.*
- 145 *Teui Yuet, Helfrion Steven. Wave induced pore pressure in submerged sand layer. //J. Geoteh. Eng., 1983, 109, 4. –P. 603–18.*
- 146 *United States Geological Survey. Water-Supply Paper 2350.*
- 147 *Vidal V., Vidal F. Coastal submarine hydrothermal of Northen Baja California. J. Geofis. Res., 1978, v.83, №134. –P. 1754–774.*
- 148 *Vidal V., Vidal F. Relation mezela de fluidos geotermicos con distinita composition isotopica elemental. Bol. 2E, 1981, v.5, № 11. –P. 415–420.*

О г л а в л е н и е

<i>Введение</i>	<i>5</i>
<i>Глава 1. Прибрежная зона. Понятийные представления и терминология</i>	<i>9</i>
<i>Глава 2. Теоретические предпосылки оценки величины субмаринной разгрузки подземных вод</i>	<i>18</i>
<i>Глава 3. О методике морских гидрогеологических исследований</i>	<i>30</i>
<i>Глава 4. Пресные субмаринные источники. Обзор</i>	<i>42</i>
<i>Глава 5. Опыт изучения субмаринных источников в Черном море</i>	<i>54</i>

<i>Глава 6. Карстовые процессы в прибрежной зоне</i>	<i>67</i>
<i>Глава 7. Термальные субмаринные источники</i>	<i>76</i>
<i>Глава 8. О влиянии гидрогеологических факторов на динамику пляжевых отложений</i>	<i>82</i>
<i>Глава 9. Субмаринная разгрузка в конусах выноса рек</i>	<i>94</i>
<i>Глава 10. Миграция флюидов по разрывным тектоническим нарушениям</i>	<i>112</i>
<i>Глава 11. Интрузия морских вод</i>	<i>132</i>
<i>Глава 12. Подземные воды и экология прибрежной зоны</i>	<i>144</i>
<i>Заключение</i>	<i>165</i>
<i>Список литературы</i>	<i>169</i>

Подписано в печать 31.08.2005. Формат 84x108 1/32. Бумага офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.печ.л. 9,4. Тираж 300 экз.

Сверстано и отпечатано в издательстве «ДиАйПи»

(свидетельство ДК №1744 от 8.04.2004 г.)

г. Симферополь, пр. Кирова, 17.

тел/факс (0652) 248-178, 52-56-87. e-mail: dip@utel.net.ua

Ю р о в с к и й Ю Г

Б а й с а р о в и ч И М

**Г и д р о г е о л о г и я п р и б р е ж н о й з
О Н Ы**

на русском языке_