

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

Рамочный документ

*Под редакцией*  
Ярослава Врба и  
Бальтазара Верхагена



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Рамочный документ

*Под редакцией*  
**Ярослава Врба и**  
**Бальтазара Верхагена**

*Авторы:*  
Вили Ван дер Линден  
Клаус Питер Сейлер  
Ян Силар  
Балбир Сингх Сукхия  
Бальтазар Верхаген  
Ярослав Врба  
Вяна Йошика  
Венбин Жоу



МГП VI, Серия по подземным водам, №12

Используемые в данной публикации обозначения и содержание материала не отражает точки зрения ЮНЕСКО по юридическому статусу любой упомянутой страны, территории, города или его администрации, а также определения административных и государственных границ.

Издано в 2006г. Организацией ООН  
по вопросам образования, науки и культуры  
7, площадь Фонтаней, 75352 Париж 07 SP (Франция)

Верстка и набор текста – Марина Рубио, 93200 Сент-Денис

Перевод на русский осуществлен Кластерным Бюро ЮНЕСКО в Алматы  
Перевод на русский –Л.Е Страутман

© UNESCO 2010

# Предисловие

Проект «Использование подземных вод в чрезвычайных ситуациях» (GWES) является частью деятельности международной гидрологической программы, этап 6 (2002-2007), тема 2. Цели и задачи темы 2:

- Оценка воздействия катастроф (природных и техногенных) и методы, предлагаемые для уменьшения их последствий
- Разработка основ стратегии уменьшения экологического и социально-экономического воздействия гидрологических стихийных бедствий (наводнения, засухи, сели, ледяные заторы, лавины).
- Анализ стихийных бедствий, основанный на использовании различных типов данных (исторических данных, данных наземных и спутниковых измерений) с целью достижения более высокого уровня понимания причин стихийных бедствий в пространстве и времени.

Задачи данного проекта (GWES) приведены ниже в желтой рамке. Данный рамочный документ является первым шагом в подготовке основного документа проекта «Руководство по обнаружению и управлению стратегическими ресурсами подземных вод в целях их использования в чрезвычайных ситуациях, возникающих в результате стихийных бедствий или конфликтов»

Внедрение проекта GWES осуществляется Международной Рабочей Группой, состоящей из экспертов ЮНЕСКО, МАГ (Международная ассоциация гидрологов), IGRAC (Международный центр по оценке ресурсов подземных вод) и других организаций. Виды деятельности и задачи GWES были сформулированы на первой встрече рабочей группы, проводившейся в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже (февраль, 2004).

В качестве одного из результатов проекта GWES ЮНЕСКО предложила подготовить рамочный документ. На первом рабочем совещании в Париже было проведено обсуждение содержания документа и утверждено время для его подготовки. Второе совещание рабочей группы проходило в офисе ЮНЕСКО в Дели, Индия (апрель, 2005). Во время совещания было проведено детальное обсуждение первого варианта рамочного документа и утверждена его последняя версия. В совещании также участвовали специалисты из индийских институтов, занимающихся проблемами водных ресурсов, представители ВОЗ и ЮНИСЕФ.

Рамочный документ был подготовлен рабочей группой совместно с учеными, представляющими следующие страны и институты: Вим Ван дер Линден (IGRAC-Международный центр по оценке ресурсов подземных вод), Клаус-Питер Сейлер (Германия), Ян Силар (Чешская Республика), Балбир Сингх Сукхия (Индия), Бальтазар Верхаген (Южная Африка), Ярослав Врба (МАГ- Международная Ассоциация Гидрогеологов), Рума Йошика (Япония), Венбин Жоу (Китай). Материалы по исследованию конкретных случаев были представлены Д.К. Чадба, А.К. Синха и Р.С. Джейн (IGRAC), Клаус-Питер Сейлером (Германия) и Бальтазаром Верхагеном (Южная Африка).

Авторы данного проекта выражают благодарность ЮНЕСКО за финансирование проекта, а также за техническую и административную помощь и поддержку. Особую признательность мы хотели бы выразить г-же Алисе Аурели, менеджеру по ресурсам подземных вод в секретариате международной гидрогеологической программы, в отделе водных наук, ЮНЕСКО, которая принимала активное участие в реализации проекта GWES и подготовке рамочного документа. Мы также выражаем благодарность офису ЮНЕСКО в Дели, в особенности г-ну Б.Р. Неупану, эксперту по программам, который организовал совещание рабочей группы GWES в Дели. Мы также выражаем признательность гидрологам и гидрогеологам из Юго-Восточной Азии, которые внесли вклад в проект GWES.

**Ярослав Врба**  
*Редактор рамочного документа GWES  
Координатор проекта*

**Бальтазаром Т. Верхагеном**  
*Редактор рамочного документа GWES*



**Подземные воды в чрезвычайных ситуациях**  
**Проект 6-го этапа Международной Гидрологической программы**

На 15-й сессии Межправительственного Совета Международной Гидрологической программы был утвержден проект «Использование подземных вод в чрезвычайных ситуациях». Этот проект был включен в план внедрения 6-го этапа МГП (2002-2007) под названием «Обнаружение и управление стратегическими ресурсами подземных вод с целью их использования в чрезвычайных ситуациях, возникших в результате стихийных бедствий и конфликтов». Проект GWES осуществляется в рамках темы 2 «Интегрированные водоразделы и динамика водоносных горизонтов».

Основная задача проекта GWES состоит в изучении природных и техногенных катастроф, которые могут пагубно влиять на здоровье и жизнь людей, и обнаружении потенциально безопасных подземных вод с низким уровнем загрязнения, которые могут использоваться для временной замены поврежденных систем водоснабжения. Для решения этой задачи требуется особый подход. Необходимо отметить, что обычно проекты по использованию водных ресурсов рассматривают ситуацию устойчивого использования ресурсов. Приоритетом в чрезвычайной ситуации является управление с допущением риска с целью предоставления первой помощи пострадавшему населению.

Основные задачи проекта GWES:

- Разработка эффективных методов обнаружения подземных вод с высокой степенью защищенности от чрезвычайных и/или катастрофических климатических и геологических стихийных бедствий, а также техногенных катастроф.
- Применение эффективных методов исследования подземных вод – гидрогеологических, изотопно-гидрологических, дистанционного зондирования и других.
- Проведение инвентаризации подземных вод, невосприимчивых к природным и техногенным воздействиям в выбранных пилотных регионах и представление результатов изучения конкретных случаев использования подземных вод в конкретных ситуациях.
- Публикация рекомендаций по обнаружению, исследованию, разработке и управлению стратегическими ресурсами подземных вод, которые могут быть использованы в чрезвычайных ситуациях, возникших в результате климатических или геологических стихийных бедствий и конфликтов.

# Оглавление

|           |                                                                                                   |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Введение</b>                                                                                   | <b>8</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Подземные воды как ресурсы, используемые в чрезвычайных ситуациях</b>                          | <b>10</b> |
| <b>3.</b> | <b>Происхождение, залегание и движение подземных вод</b>                                          | <b>12</b> |
| <b>4.</b> | <b>Управление рисками при использовании подземных вод в чрезвычайных ситуациях</b>                | <b>17</b> |
|           | 4.1 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах, подверженных наводнениям          | 18        |
|           | 4.2 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах, подверженных засухе               | 19        |
|           | 4.3 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах, подверженных землетрясениям       | 22        |
|           | 4.4 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах вулканической активности           | 25        |
|           | 4.5 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах оползней                           | 26        |
|           | 4.6 Управление рисками при использовании подземных вод в районах цунами                           | 27        |
|           | 4.7 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах, подверженных ураганам             | 30        |
| <b>5.</b> | <b>Изыскание и исследование ресурсов подземных вод для использования в чрезвычайных ситуациях</b> | <b>32</b> |
|           | 5.1 Геология                                                                                      | 32        |
|           | 5.2 Гидрогеология                                                                                 | 34        |
|           | 5.3 Гидрохимия                                                                                    | 37        |
|           | 5.4 Изотопная гидрология                                                                          | 40        |
|           | 5.5 Геофизика                                                                                     | 44        |
|           | 5.6 Методы дистанционного зондирования                                                            | 48        |
|           | 5.7 Разработка концептуальной модели системы подземных вод                                        | 50        |
|           | 5.8 Математическое моделирование                                                                  | 51        |
|           | 5.9 Географические информационные системы                                                         | 52        |
| <b>6.</b> | <b>Требования, касающиеся институциональной и технической базы</b>                                | <b>56</b> |
|           | 6.1 Создание институциональной базы                                                               | 56        |
|           | 6.2. Создание технической и научной базы                                                          | 57        |
| <b>7.</b> | <b>Предотвращение и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф</b>                  | <b>59</b> |
|           | 7.1 Фаза прогнозирования                                                                          | 59        |

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2. Фаза предупреждения                                                                                                             | 59        |
| 7.3. Фазы воздействия и прекращения действия                                                                                         | 60        |
| 7.4. Фаза восстановления                                                                                                             | 60        |
| 7.5. Планы снижения риска катастроф и планы управления рисками водопользования                                                       | 60        |
| <b>8. Заключительные замечания и будущее GWES</b>                                                                                    | <b>62</b> |
| <b>9. Использованные источники, избранные труды и планируемые доклады</b>                                                            | <b>63</b> |
| <b>10. Исследования конкретных случаев</b>                                                                                           | <b>65</b> |
| 10.1. Роль изотопной гидрологии в выявлении безопасных ресурсов подземных вод в Южной Африке                                         | 65        |
| 10.2. Разработка системы раннего предупреждения о чрезвычайных ситуациях, связанных с процессами инфильтрации на берегах рек         | 69        |
| 10.3. Чрезвычайные ситуации в дельтах рек: Нидерланды                                                                                | 73        |
| 10.4. Управление рисками ресурсов подземных вод во время землетрясения в Бхудже (26 января 2001 года)                                | 77        |
| 10.5. Воздействие цунами 26-12-2004 года на подземные воды побережья Индии и стратегия экстренных действий по ликвидации последствий | 83        |
| <b>11. Глоссарий</b>                                                                                                                 | <b>88</b> |

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Трудно представить, что Вы оказались в такой ситуации, что Вы можете умереть от жажды или что Вашу жизнь может спасти тот, кто даст Вам глоток воды. Для того чтобы оказаться в таких условиях, не обязательно представлять себе, что Вы попали в Средние века или оказались в центре огромной пустыни. Совсем недавно люди испытывали недостаток питьевой воды, вызванный природными и техногенными катастрофами, даже в высоко развитых странах. В случае катастрофы, сразу после обеспечения физической безопасности для людей, основной задачей спасательных служб является обеспечение пострадавших питьевой водой. Мы часто получаем информацию о таких чрезвычайных ситуациях, которые возникают в результате наводнений, засух, вызванных дождями оползней, землетрясений, выбросов загрязняющих веществ и других природных и техногенных катастроф. (вставка 1.1)

В таких случаях часто бывает трудно найти замещающий источник водоснабжения, когда обычные системы водоснабжения нарушены или повреждены в результате природных или техногенных катастроф. Восстановление трубопроводов может занять месяцы или годы. Для того чтобы организовать доставку воды в цистернах или доставку больших количеств бутылированной воды с целью предотвращения эпидемии, требуется некоторое время это довольно дорогостоящий и временный способ снабжения водой. В чрезвычайных ситуациях в качестве долговременного источника воды можно использовать подземные воды проверенного качества, с определенным временем образования и необходимой инфраструктурой для добычи. Использование подземных вод позволяет быстро получить замещающий источник воды, вместо поврежденного постоянного источника, и повысить эффективность спасательных операций. Необходимо проводить исследования таких ресурсов и, если возможно, замораживать их использование и оставлять в качестве резервного источника питьевой воды, используемого в случае стихийных бедствий, что позволяет полностью устранить или уменьшить воздействие отсутствия питьевой воды в районе катастрофы. Разработка такой политики и стратегии, как краткосрочной, так и долгосрочной, направлена на повышение уровня безопасности населения. Такие действия необходимы для уменьшения уровня уязвимости населения, проживающего в районах подверженных воздействию стихийных бедствий – в долинах, часто заливаемых при наводнениях, в прибрежных районах, на горных склонах, в аридных зонах или зонах активной промышленной деятельности.

## **1.1 Типы стихийных бедствий, связанных с водными ресурсами, и их распределение по районам земного шара**

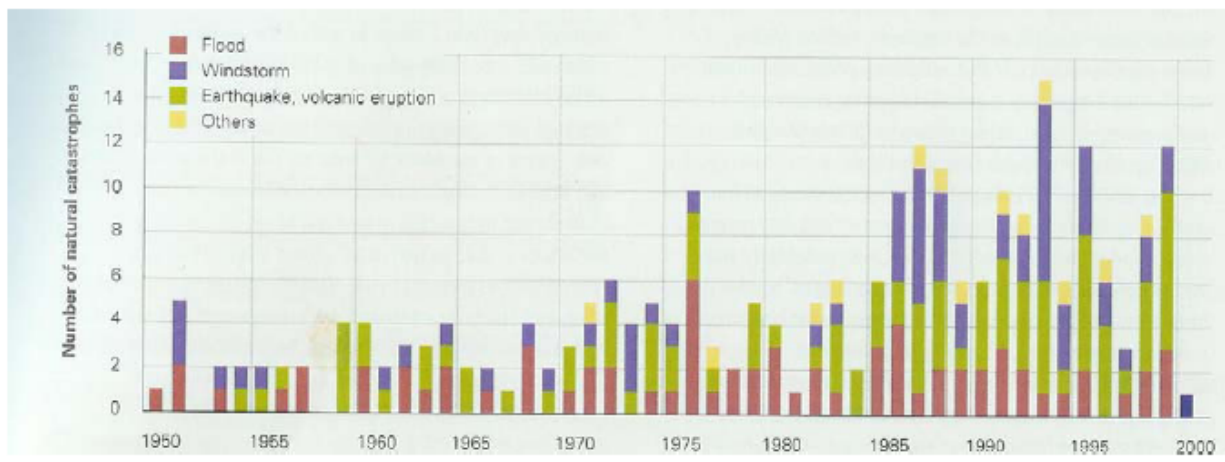
50% всех стихийных бедствий в мире за период с 1990 по 2001 гг. было вызвано наводнениями, 28% - эпидемиями, вызванными плохим качеством воды, 11% - засухи, 9% - оползни и 2% - голод.

35% всех стихийных бедствий наблюдались в Азии, 29% - в Африке, 20% - в Южной и Северной Америке, 13% - в Европе и 3% - в Океании. Согласно оценкам экспертов глобальные экономические потери, вызванные этими природными катастрофами, составили в 1970г. почти 30 миллиардов долларов, а в 1999г эта цифра выросла до 90 млрд. долларов. Аналогичные тенденции прослеживаются и для количества людей, пострадавших от природных катастроф за последние два десятилетия: 147 миллионов в год (1981-1990) и 211 миллионов в год (1991-2000). По оценкам Всемирного банка (2000г.) 97% смертельных случаев, вызванных стихийными бедствиями, происходит в развивающихся странах. 90% людей, погибающих во время стихийных бедствий, погибают во время климатических катаклизмов (наводнения, засухи, ураганы), количество которых увеличилось в 2 раза по сравнению с 1996г. По количеству смертельных исходов первое место среди стихийных бедствий занимают засухи. На рис. 1.1. отчетливо видна тенденция увеличения количества природных катастроф.

Источник: Affeltranger, 2001, WWDR, 2003.



**Рис. 1.1 Тенденция увеличения количества природных катастроф за период с 1950 по 2000г. (Вода для людей, вода для жизни, 2003 г.)**



Поэтому особенно важным аспектом деятельности GWES по привлечению внимания правительств, организаций и отдельных лиц к концепции готовности создания альтернативных источников воды является предоставление полномочий. Очень часто местное население оказывается беспомощным после стихийного бедствия, отрезанным от традиционных источников воды и не имеющим помощи извне непосредственно после стихийного бедствия. Эти факторы приводят к дестабилизации ситуации и деморализации населения в то время, когда люди должны восстанавливать свою жизнь. Полномочия GWES позволяют людям производить действия сразу после стихийного бедствия, используя свой опыт и инфраструктуру, восстановить подачу воды из подземных источников, что создает основу для общего восстановления.

## 2. Подземные воды как ресурсы, используемые в чрезвычайных ситуациях

Современная гидрогеология развивалась в странах с большим количеством водных ресурсов, где вода либо рассматривалась как источник угрозы для населения, либо как средство, которое можно использовать на благо людей. Однако большая часть поверхности земли находится в зонах с аридным климатом и страдает как от дефицита водных ресурсов, так и от угрозы наводнений. В настоящее время люди рассматривают воду, как самый важный компонент биосферы. Вода – это источник опасности и неотъемлемая часть окружающей среды, ценный товар, а часто и стратегический ресурс для социального и экономического развития.

Значение каждой из составляющих двойственной роли воды зависит от местных условий. Засушливые районы Ближнего Востока и Северного Африки, известные отсутствием ресурсов питьевой воды, иногда страдают от наводнений, приносящих большой ущерб и уносящих много человеческих жизней. Расцвет и закат государств в истории Ближнего Востока были часто связаны с умением управлять водными ресурсами, распределением воды для нужд водоснабжения и ирригации. И в настоящее время государства в этом регионе сильно зависят от воды, она влияет на политические и социальные события в разных частях земного шара. (вставка 2.1)

### 2.1 Природное и техногенное воздействие на водные ресурсы

Во время так называемой и «холодной войны» некоторые страны собирали информацию по ресурсам подземных вод, которые могут быть использованы в случае возможного начала военных действий.

В таких обзорах рассматривались глубокие водоносные горизонты, содержащие воды, образованные в доисторическую эпоху. Изучение палеонтологических вод является одной тем исследовательских проектов отдела изотопной гидрологии Международного Агентства Атомной Энергии (МАГАТЭ). В последние годы аналогичные проекты появились и в других агентствах. Наводнение в Центральной Европе в 1997г. и 2002г. привели к необходимости закрытия затопленных колодцев и систем водоснабжения и поиску их замены на время восстановления. Вместо неглубоких водоносных горизонтов в равнинах использовались более глубокие напорные водоносные горизонты, расположенные в ниже лежащих пластах. Добыча не возобновляемых ресурсов подземных вод является вполне обоснованным решением для получения источника воды в аридных районах и уменьшения пагубного воздействия засухи. Для разработки разных типов водоносных горизонтов – водоносных пластов, расположенных в твердых скальных породах в горных районах, подверженных действию землетрясений, водоносных пластов, расположенных в зоне цунами, в прибрежных районах, в зонах оползней, которые сопровождаются ураганами и другими атмосферными явлениями, например, ураганами ЭльНипо, наблюдающимися вдоль западного побережья Южной Америки – используются различные гидрогеологические методы. Особого внимания требуют случаи техногенного воздействия на водные системы, например, военные действия, атаки террористов, а также аварии, вызывающие масштабное промышленное загрязнение.

Поэтому наша задача состоит в применении знаний в гидрогеологии для решения конкретных задач исследования источников подземных вод, которые можно использовать в чрезвычайных ситуациях и разработки основных правил их эксплуатации.

Природные водные ресурсы обычно являются возобновляемыми. Однако их возобновляемость не является неограниченной, они возобновляемы только в случае ограниченных объемов добычи воды (Вода для людей – вода для жизни, 2003). Возобновляемость подземных вод необходимо рассматривать в единицах пополнения объема воды в горизонте. При изучении подземных вод в региональном масштабе, а часто и в масштабе геологического времени, необходимо принимать во внимание все выше приведенные характеристики. Увеличение объемов добываемой воды для потребления в личных целях населения, в сельском хозяйстве и промышленности приводит к чрезмерной эксплуатации ресурсов в разных частях земного шара.

Нарушен баланс между пополнением водоносных пластов и извлечением водных ресурсов, и на обширных территориях наблюдается понижение уровня воды.

Концепция устойчивого использования и управления ресурсами подземных вод была разработана как противодействие описанной выше тенденции.

Однако в чрезвычайных ситуациях, когда в опасности жизнь людей, а системы снабжения питьевой водой не работают, невозможно строго следовать концепции устойчивого использования подземных ресурсов. В таких случаях вопрос о невозобновляемости отходит на второй план, и возникает необходимость проверки качества воды в глубоких водоносных пластах и даже невозобновляемых «ископаемых» вод с целью добычи требуемых объемов воды. Однако такое водоснабжение в чрезвычайных ситуациях нельзя рассматривать как заменитель традиционного водоснабжения. Оно должно использоваться только во время чрезвычайных ситуаций до момента восстановления количества и качества воды в обычной системе водоснабжения.

При добыче воды в чрезвычайных ситуациях часто выясняется, что система добычи из водоносных пластов плохо подготовлена даже в местах, где вода легко доступна. Добыча воды из подземных источников может быть успешной только, если предварительно проведены гидрогеологические исследования, мониторинг и картирование ресурсов подземных вод, что часто включает использование таких методов как изотопная гидрогеология, геофизика, дистанционное зондирование и другие методы.

Основой для выбора стратегии восстановления регулярного водоснабжения во время или после катастрофы является знание региональных гидрогеологических условий. Во многих районах трудно или невозможно обеспечить аварийное водоснабжение из полностью замкнутых водоносных систем. В таких случаях необходимо провести тщательное исследование существующей системы водоснабжения и водоносного пласта, чтобы определить возможности ее временного интенсивного использования во время чрезвычайной ситуации. Чрезвычайная ситуация, например, метеорологическая засуха, может привести к высыханию подземных вод, отсутствию воды в скважинах, что приводит к увеличению нагрузки на другие скважины и оказывает, в большей или меньшей степени, влияние на водоносные горизонты. В этом случае используются следующие стратегии: добыча воды из резервных и охраняемых скважин, проведение технического обследования оборудования и, если это возможно, углубление существующих скважин (CSADC 2003). Государственные и муниципальные органы управления, органы гражданской обороны и армия должны знать места, где можно получить доступ к резервам подземных вод в районах часто подверженных действию стихийных бедствий. Важными факторами для создания инфраструктуры, которая быстро приводится в действие и надежно функционирует в случае стихийного бедствия, является предварительное проведение научных исследований и поддержка местного населения.

«С глаз долой – из сердца вон», «если в прошлом году была засуха или наводнение, которое наблюдается раз в 100 лет, то в следующие 99 лет никаких стихийных бедствий не произойдет» - это обычное отношение к стихийным бедствиям. Стихийное бедствие надо рассматривать как предупреждение о необходимости подготовки населения, местных властей, систем водоснабжения и стратегий для работы в чрезвычайных ситуациях.

Из выше приведенных факторов можно сделать следующие выводы: необходимо хорошо знать региональную гидрогеологию, не только места циркуляции подземных вод, но также места стагнации, откуда можно извлекать воду приемлемого качества в течение непродолжительного периода, необходимо выходить за рамки традиционного подхода при проведении гидрогеологических исследований и оценки запасов подземных вод.

### 3. Происхождение, залегание и движение подземных вод

Подземные воды, океаны и атмосфера – основные источники воды на нашей планете – связаны с друг с другом водным циклом, который дает возобновляемую воду для людей и экосистем (вставка 3.1). В соответствии с данными, полученными Шикломановым (1999г), в настоящее время годовой круговорот воды в природе составляет 577 000 км<sup>3</sup> (рис.3.1), этот водный цикл включает суммарное испарение, который поглощает  $1.1 \times 10^{24}$  Дж солнечного излучения, поступающего водного пара и сток.

#### 3.1 Распределение воды по земному шару

1.386·10<sup>9</sup> км<sup>3</sup> воды находится на поверхности или на небольшой глубине под поверхностью земли, большая часть этой воды находится в жидком состоянии, некоторая часть – в виде льда и очень незначительный объем воды находится в газообразном состоянии. Воды океанов содержат 97,5% всей воды на земле, а пресная вода составляет остальные 2,5%.

Пресная вода, в основном, находится на континентах, и подразделяется на следующие группы:

- 68,9 % воды содержится в ледниках
- 29,9 % воды содержится в подземных водах
- 0,9 % воды содержится в виде влаги в почве и водяного пара в атмосфере
- 0,3 % воды содержится в поверхностных водах

Объем всех подземных вод составляет 8 300 000 км<sup>3</sup>, как известно, они находятся на различных глубинах, достигающих несколько километров от поверхности суши, они образовались в результате выпадения дождевых осадков, как в современный период, так и в далеком прошлом (пополнение запасов). Некоторые подземные воды находятся в водоносных горизонтах с момента образования отложений (реликтовые воды).

Распределение объемов пополнения запасов подземных вод не является равномерным для различных широт, оно зависит от климатических поясов, взаимодействия между океаном и атмосферой, растительности, а также физиографических условий. Различные объемы пополнения водных ресурсов наблюдаются:

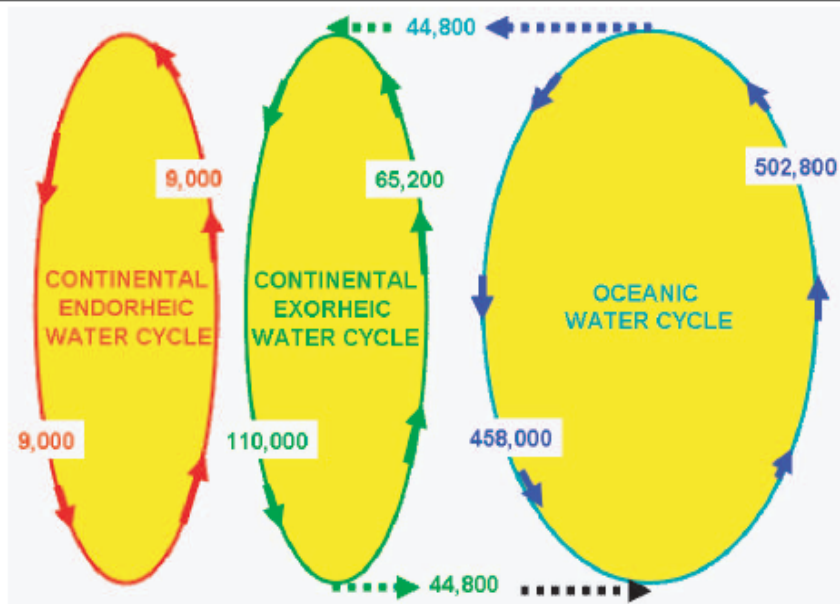
- в пустынных районах (Верхаген и др., 1979) где этот процесс имеет большие различия, как во времени, так и в пространстве, с очень низкими объемами притока воды (<5мм/год),
- в полуаридных и тропических регионах, где регистрируются большие флуктуации в объемах выпадающих осадков в течение года, приток воды составляет от 30мм/год до 150мм/год,
- в районах с высокой влажностью, где приток воды составляет 300мм/год,
- даже в районах вечной мерзлоты, где как показали Мичел и Фритц (1978г), пополнение подземных вод тоже происходит, хотя и в минимальных объемах.

Приток воды в подземные водоносные горизонты, а также тектонические, морфологические и эвтактические структуры составляют движущую силу, вызывающую движение воды, которое может быть стационарным или нестационарным.

Согласно оценкам Шикоманова (1999г) избыточная разгрузка экзорхерных водосборных бассейнов ежегодно составляет 44 880 км<sup>3</sup> (рис 3.1), что эквивалентно вкладу океанов в круговорот воды на континентах. Величина этого избыточного стока мала по сравнению с объемом подземных вод – 8300000 км<sup>3</sup>. Это несоответствие показывает, что или время круговорота для подземных вод очень велико, или они распределены неравномерно по глубине. Изотопные исследования окружающей среды и численное моделирование (рис.3.2) показало, что возраст воды или время круговорота значительно увеличивается с глубиной, и даже наблюдается скачок в увеличении этих параметров с глубиной, вследствие резких изменений в гидравлической проводимости с глубиной.

Если взять среднее глобальное значение избыточного стока с континентов, как максимальный имеющийся в наличии водный ресурс, и сравнить эту величину с глобальной потребностью в воде плюс объем сточных вод (3.2), станет понятно, что наша планета близка к состоянию дефицита воды или уже находится в таком состоянии. Этот вывод подтверждается недостатком воды, как в количественном, так и в качественном отношении, во многих жарких странах и некоторых странах с влажным климатом.

Рис. 3.1 Глобальный океанический и континентальный круговорот воды и взаимосвязь между ними (все величины в единицах км<sup>3</sup>), Шикломанов (1999г)



Примечание: определение «эндорхейский» и «экзорхейский» дано в глоссарии

### 3.2 Потребности человечества в воде (на душу населения)

Суммарная потребность (включает все виды деятельности) составляет от 1000 до 1500 м<sup>3</sup>/год, причем потребность в воде для хозяйственных целей составляет ~50 м<sup>3</sup>/год, а минимальный объем воды для выживания составляет 10 м<sup>3</sup> в год.

Общая потребность всего населения земного шара в воде в начале 21 века составила 5000-6000 км<sup>3</sup> на душу населения в год, что близко к величине 1000 м<sup>3</sup> на душу населения. Хотя потребность в воде 6 миллиардов человек меньше объема ежегодного стока воды в океан, необходимо помнить, что любое использование голубой воды (воды соответствующей стандартам здравоохранения и требованиям к сохранению экосистем) приводит к образованию серой (сточной) воды.

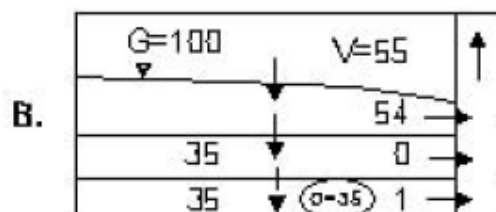
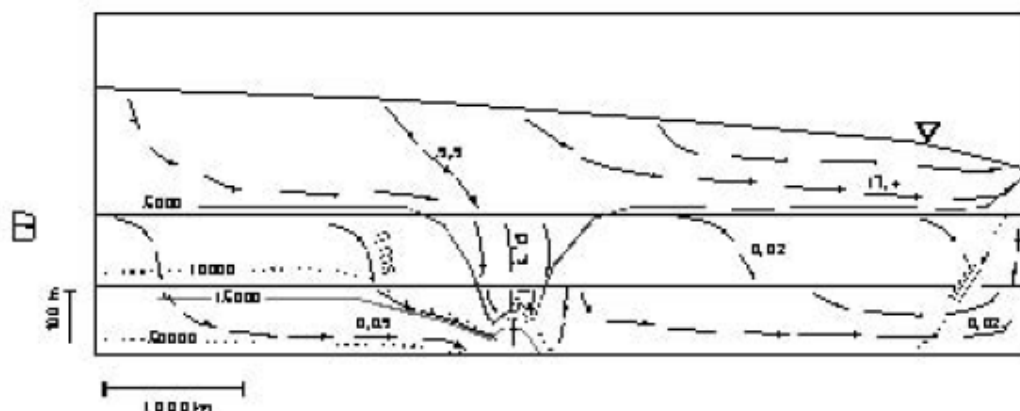
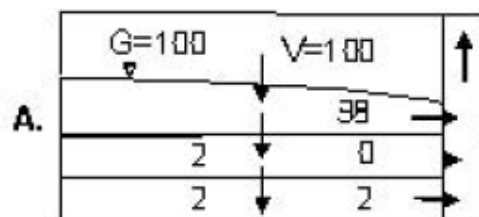
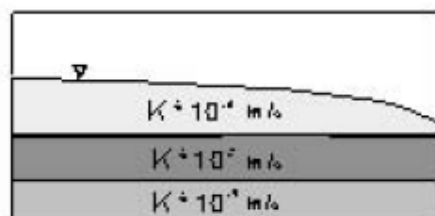
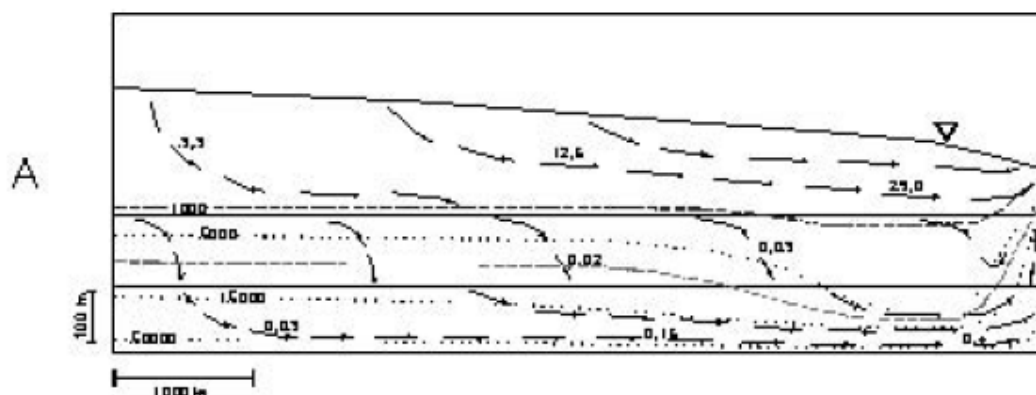
Эмпирически 1 м<sup>3</sup> неочищенных серых вод образуется из:

~ 9 м<sup>3</sup> голубой воды, выделенной переработанной в окружающую среду

~ 3 м<sup>3</sup> голубой воды, выделенной после физической, химической и биологической очистки, которая проходит эффективное природное очищение.

Рис.3.2 Векторы (стрелки) подземных потоков со скоростями в м/день и изохронные линии (линии одинакового возраста в годах) для системы водоносных горизонтов с гидравлической проводимостью  $10^{-4}$ ,  $10^{-7}$  и  $10^{-6}$  м/с (сверху вниз)

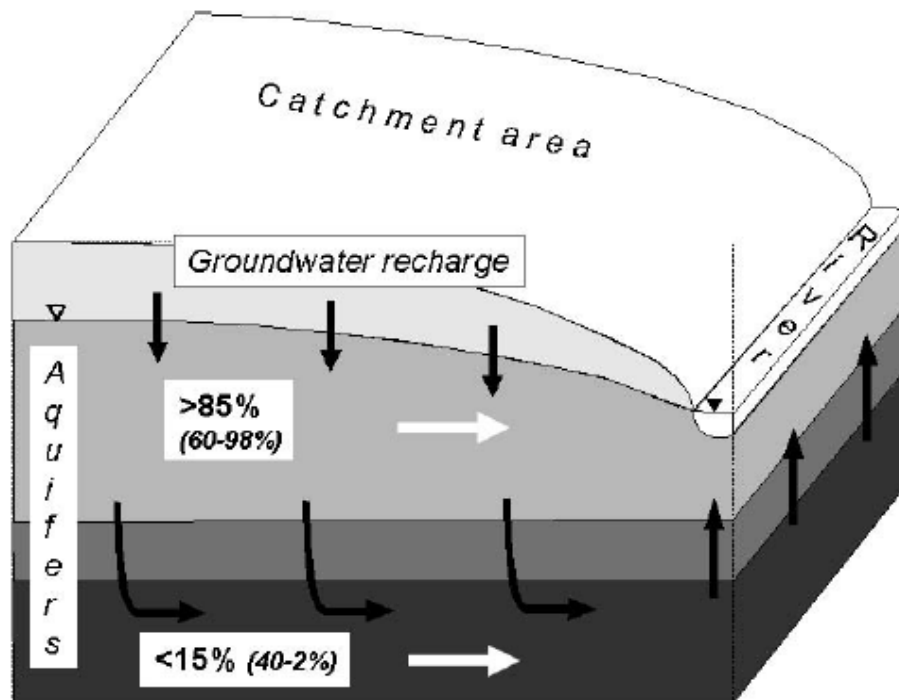
А. Неэксплуатируемая система и величины круговорота воды в трех водоносных пластах.  
 Б. Система, аналогичная системе А, но с объемом добычи глубоких подземных вод, составляющих 35% суммарного притока по всей площади водосборного бассейна.





Приток подземных вод также неравномерно распределен по вертикали (рис.3.3). Неравномерность усиливается вследствие разных гидравлических свойств различных частей водоносной системы. Численное моделирование типичных последствий гидравлической проводимости в водоносных системах показывает, что в среднем 85% притока воды в водоносный пласт вытекает через приповерхностную зону (зону активного притока) и менее 15% проходит через глубокие слои (зона пассивного притока) (Сейлер и Линдер, 1995г). Две выше рассмотренные зоны находятся над зоной реликтовых вод, они присутствуют на всех континентах, во всех климатических зонах и во всех типах пород.

**Рис.3.3** Блок – схема водосборного бассейна (глубиной 400м и шириной 15000м), под которым находится система водоносных пластов. Цифры без скобок показывают среднее значение, цифры в скобках показывают минимальное и максимальное значение в процентах величины круговорота притока в подземные пласты. Эти цифры были получены в результате 100 вычислений по программе с различными распределениями гидравлической проводимости



#### Подземные воды

- зона активного притока – содержит молодые воды (<50 лет), воды уязвимые к воздействию загрязнений, достаточно быстро достигающие устойчивого состояния, если добыча не превышает пополнения подземного пласта,
- зона пассивного притока всегда содержит более древние (>100 лет) воды; более длительное пребывание вод в водоносном горизонте обеспечивает большую защиту от загрязняющих веществ, при условии, что при добычи вод принимаются во внимание различные слои водоносного пласта, в противном случае может возникнуть переходный гидравлический поток (перенос массы с некоторыми временем задержки (Рис.3.4.), который может продолжаться в течение нескольких десятков или сотен лет. Этот запаздывающий перенос массы можно регистрировать с помощью систем раннего предупреждения.
- зона пассивного притока может иметь более высокий уровень минерализации (более высокая концентрация ионов), чем зона активного притока, иногда в ней в малых количествах присутствуют растворимые элементы (например, As, I, F), что обусловлено большим средним периодом круговорота, это приводит к более медленному выщелачиванию, чем в активной зоне.

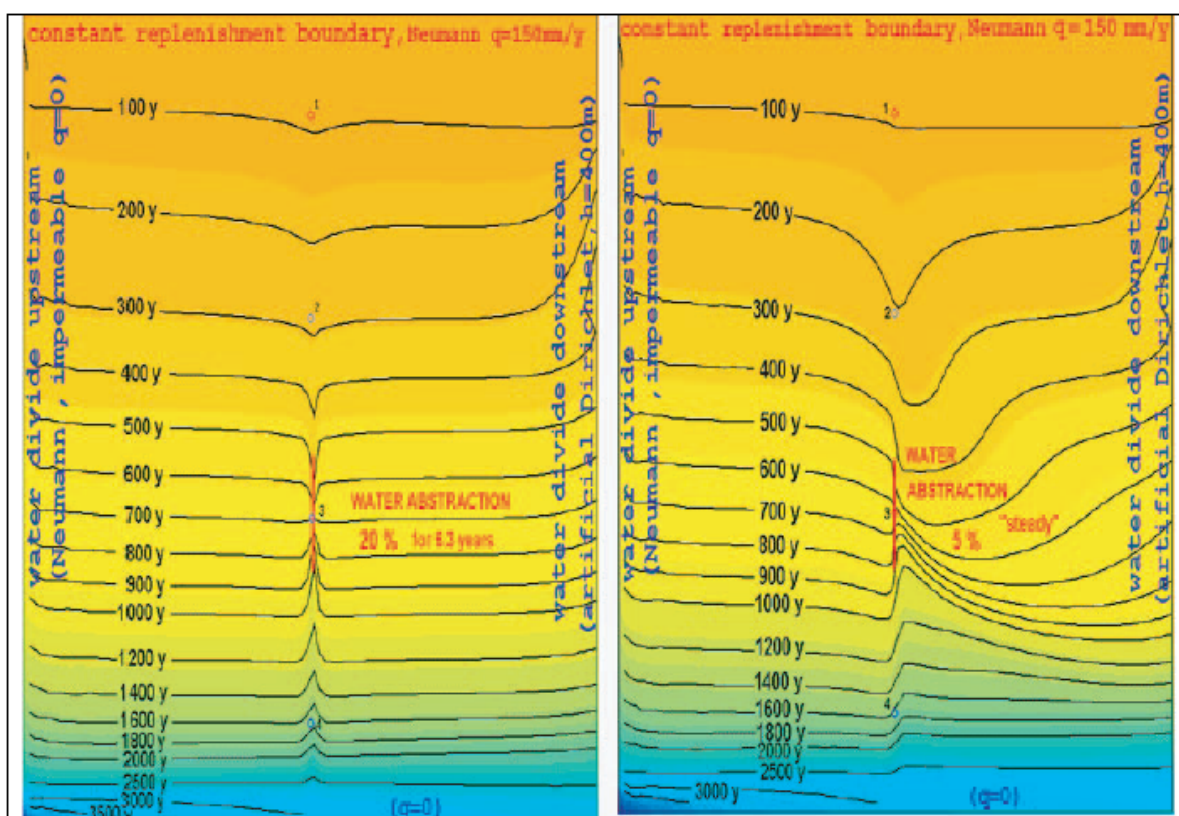
Толщина активной зоны притока зависит о скорости притока подземных вод и от способности подповерхностного слоя удерживать влагу. В умеренном климате в сцементированных, трещиноватых породах

толщина этой зоны может достигать 100м, в нецементированных породах составляет 50м и уменьшается до величины меньше 10м в полуаридном и холодном климате, в аридных регионах она существует в виде отдельных областей. Границу раздела между пассивной и активной зоной притока в водоносном горизонте можно определить с помощью радиоактивных изотопов с коротким временем жизни, например  $^3\text{H}$ .

Зона пассивного притока имеет намного большую толщину, чем зона активного притока. Поэтому растворение (например, загрязняющих веществ) в глубоких водоносных пластах является более выраженным эффектом, чем в мелких пластах.

В долгосрочном плане пополнение запасов подземных вод является дешевым и энергосберегающим регулирующим фактором, способствующим повышению благосостояния и экономическому развитию региона. Человечество уже приблизилось к границе, за которой оно будет испытывать недостаток воды. В критических ситуациях, возникающих после серьезных аварий или стихийных бедствий в районах с дефицитом воды, единственным источником водоснабжения является зона пассивного притока, которую можно быстро вести в эксплуатацию без каких-либо необратимых изменений в качестве подземных вод (Рис.3.4). Однако такие действия должны контролироваться системами раннего оповещения (раздел10.2).

**Рис. 3.4 Добыча подземных вод с глубины 150м создает ответную реакцию в виде вертикального перемещения массы воды в течение десятилетий или столетий**



Добыча воды из водоносного пласта с 20% притоком вызывает незначительные изменения в изохронном поле только через 6, 3 лет после непрерывной откачки воды, так как неустановившийся поток имеет низкую скорость.

Добыча воды из водоносного пласта с 5% притоком подземных вод приводит к значительному применению изохронного потока после достижения устойчивого состояния.

## 4. Управление рисками при использовании подземных вод в чрезвычайных ситуациях

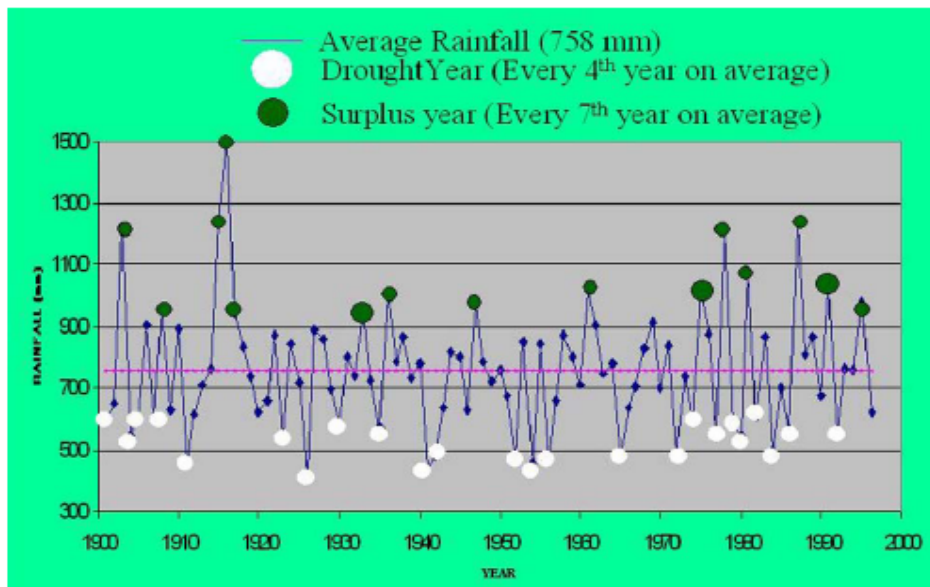
Природные катастрофы или чрезвычайные ситуации, вызванные разрушительными геологическими или климатическими процессами, приводят к полной зависимости пострадавшего населения от подземных вод. Поэтому необходимо устанавливать места залегания подземных вод, там, где это возможно, создавать искусственное пополнение запасов подземных вод, организовывать их охрану, разрабатывать водоносные пласты как источник водоснабжения и обеспечить возможность их применения в чрезвычайных ситуациях.

Разрушительные геологические или климатические события имеют тенденции к периодическому повторению. Поэтому из изучения исторических записей важно установить частоту повторения стихийных бедствий с определенной магнитудой за определенный промежуток времени, что позволяет оценить период повторяемости событий.

Катастрофические события, вызывающие наибольшие разрушения, происходят намного реже, чем события, наносящие меньший ущерб. Другим важным аспектом является то, что геологические и климатические катастрофы чаще происходят в определенных районах земного шара. Например, хорошо известно, что на границах геологических плит наблюдается максимальный риск повторения землетрясений и вулканических извержений. Хорошо известно, что такие страны как Япония, Иран, западная часть США, Италия, северо-восточная часть Индии и Новая Зеландия имеют высокий риск возникновения землетрясений. Вулканическая активность часто проявляется в Японии, Индонезии, Новой Зеландии, на Филиппинах, в Италии, Исландии и других странах. Аналогично на земном шаре есть регионы, которые вследствие метеорологических и топографических условий имеют высокий риск возникновения климатических катастроф. К этой группе стран относятся Бангладеш, северо-восточная часть Индии и юг США, эти территории подвержены воздействию наводнений и ураганов. Также на земле есть районы, где часто возникают цунами. 26 декабря 2004 г. произошедшее на Суматре землетрясение с магнитудой 9,1 балла привело к огромным разрушениям, унесшим 300 000 жизней в юго-восточной Азии (Индонезия, Шри-Ланка и Индия).

Данные по выпадению дождей в полуаридной части Индии (рис.4.1) показывают, что каждые 4 года здесь наблюдается засуха, а каждые 7 лет – наводнение.

**Рисунок 4.1** Временные ряды данных по дождевым осадкам за период 1901–96, твердые породы, Налгонда, Андхра Прадеш, Индия



Таким образом, при рискованном использовании водных ресурсов возникает необходимость установить зоны рисков для климатических и геологических катастроф в каждой стране или регионе. Для определения

таких зон необходимо знание минимального количества воды на человека и количество людей, которые могут пострадать в случае стихийного бедствия. Задача рискованного использования водных ресурсов состоит в том, чтобы сравнить эти данные с ресурсами подземных вод, которые можно использовать в чрезвычайных ситуациях, оценить количество, качество и длительность использования ресурсов задолго до стихийного бедствия и контролировать состояние систем аварийного водоснабжения.

Необходимо разработать основные правила и технические условия использования подземных вод в чрезвычайных ситуациях, а также основные принципы рискованного управления подземными водами. Использование подземных вод с допущением риска основано на временном неустойчивом использовании подземных вод с целью временного снабжения населения, пострадавшего от климатических или геологических стихийных бедствий, и для обеспечения проведения спасательных операций.

## 4.1 Управление рисками при использовании подземных вод в зонах наводнений

Наводнения являются наиболее распространенным видом климатических стихийных бедствий во всем мире, от них страдает больше людей и собственности, чем от всех других стихийных бедствий. Однако наводнения проще предсказать, чем геологические катастрофы. Обычно наводнения возникают из-за большого количества выпавших дождевых осадков или таяния снега. Наводнения чаще возникают в определенное время года и в определенных районах. Для того чтобы не было перебоев с обеспечением питьевой водой во время наводнения, необходимо выявить места, которые с большей степенью вероятности окажутся затопленными во время наводнения. Необходимо также отличать такие явления как длительное (в течение нескольких недель или месяцев) затопление больших площадей от кратковременных ливневых паводков, которые продолжаются не более 24 часов. Во время наводнений реки приносят не только огромное количество воды, как показано на рис. 4.1.1, но также большое количество отложений, отстойники отходов вымываются водой, затопляются промышленные склады и производственные площади, что приводит к загрязнению поверхностных вод и неглубоких подземных водоносных горизонтов.

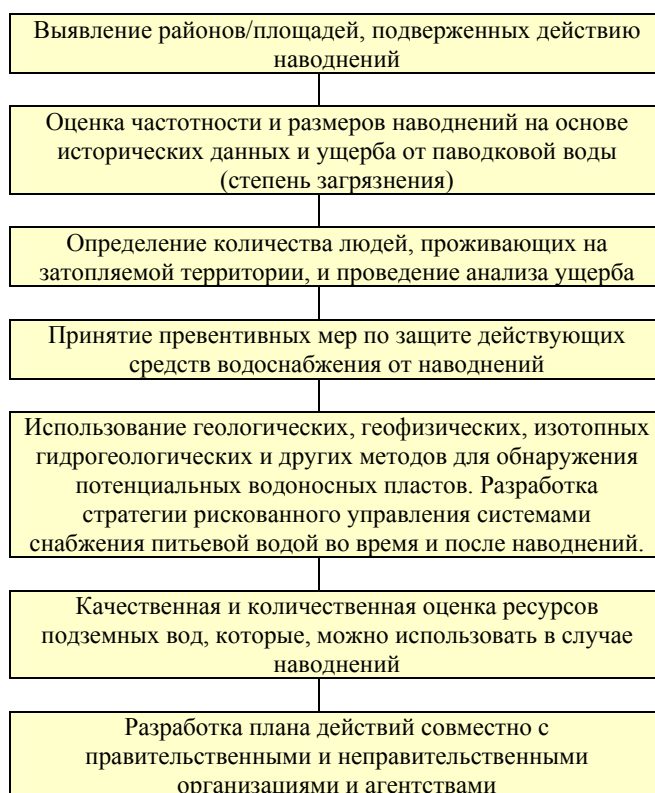
**Рис. 4.1.1 Затопленный храм Сурата в Гуджирате (Индия)**



Чтобы бороться с пагубным воздействием наводнений, в планах по рискованному использованию систем водоснабжения должны быть отмечены водоносные горизонты, которые имеют достаточно большие ресурсы и не подвергаются действию наводнений, либо вследствие наличия водоупорного пласта, либо вследствие того, что их зоны питания находятся далеко от мест, подверженных воздействию наводнений.



Действия, которые необходимо предпринять для обеспечения рискованного управления подземными водами, можно представить в виде следующей диаграммы.



## 4.2 Управление рисками при использовании подземных вод в районах, подверженных засухе

Сильная засуха приводит к большому дефициту воды, что вызывает голод, голодную смерть, перемещение населения и домашнего скота. Засухи, также как наводнения, имеют тенденцию повторяться в определенных местах земного шара, что вызвано географией местности и структурой циркуляции атмосферы. Один из наиболее хорошо известных примеров связи засухи с атмосферной циркуляцией является южная осцилляция Эль-Ниньо.

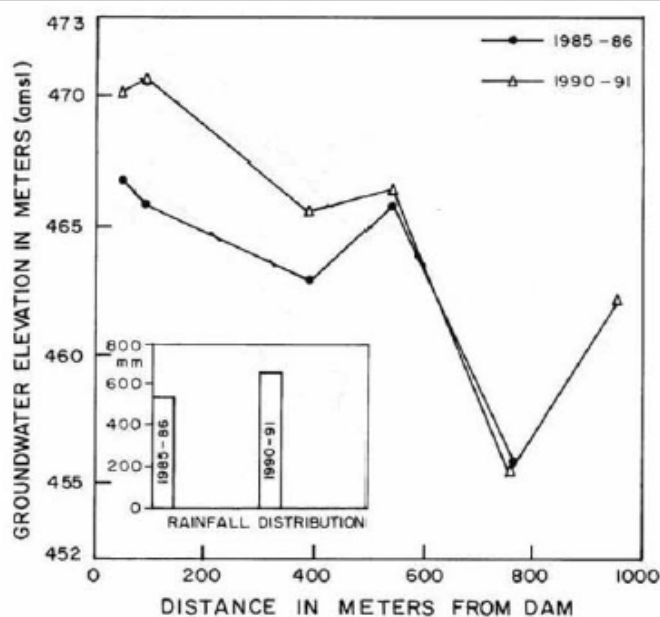
Необходимо установить регионы, часто подверженные засухе, например, это страны, расположенные вблизи пустыни Сахара в Африке, страны Ближнего Востока и много стран южной Азии, где периодически выпадает муссонные дожди (рис.4.2.1.). Засуха приводит к деградации и опустыниванию почти 1/3 пахотных земель во всем мире.

Существуют различные способы решения проблем, связанных с засухой, с помощью использования подземных вод. Подземные воды могут использоваться как превентивная мера против засухи, а также как средство ослабления пагубного воздействия засухи. Превентивные меры включают долгосрочное интегрированное правление ресурсами поверхностных и подземных пластов посредством создания фильтрационных прудов, защитных дамб, индуцированного стока и других способов. На рис. 4.2.2. показано, как устройства для искусственного пополнения подземных пластов, например фильтрационный пруд, построенный на пути стока кратковременных муссонов, может оказать помощь в борьбе с засухой. В этом случае фильтрационный пруд посредством искусственного пополнения водоносного пласта дает повышение уровня воды на 5-6 м. Важным элементом является использование традиционных знаний и опыта местного населения в области сохранения запасов воды, например, сооружение насыпей и запруд.

**Рис.4.2.1** Последствия сильной засухи в западной Индии: остатки скелетов умерших домашних животных и цистерны с питьевой водой как способ борьбы с последствием засухи

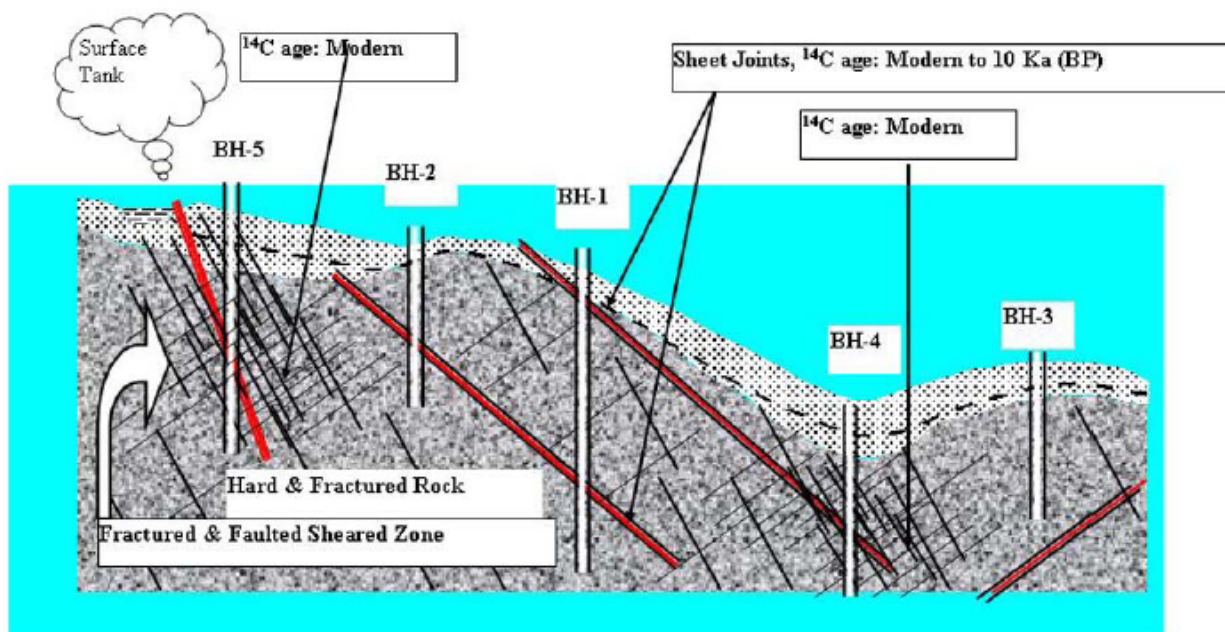


**Рис. 4.2.2** Изменение уровней подземных вод в водоносном пласте, расположенном в гранитных породах вниз по течению от фильтрационного пруда в Калвакурти до (1985-1986) и после (1988-89) его создания. В годы с количеством осадков, равным или превышающим норму, уровень воды в скважинах, расположенных внизу по течению, увеличился на 5-6м, в основном, благодаря фильтрационному пруду, влияние которого наблюдается до расстояния 500м вниз по течению (Сукхия, 2005)



Глубокие, ограниченные водоупорном, или невозобновляемые ресурсы подземных вод, если такие есть в регионе, являются наиболее безопасным источником питьевой воды, обычно воды хорошего качества, в регионах, пострадавших от засухи. Однако следует отметить, что добыча воды с большой глубины – дорогостоящий процесс. Поэтому в качестве альтернативного источника воды можно рассматривать воду в обычно неиспользуемых водоносных системах, а именно, подземные воды в трещинах и разломах с более глубокой циркуляцией подземных вод. Характеристики таких вод, длительное время находящихся в водоносных пластах, определяются в помощью радиоуглеродных измерений (рис.4.2.3.) Например, скважины ВН-1 и ВН-3, пробуренные на стыке жестких пород, где находятся водоносные пласты, являются наиболее пригодными источниками воды в чрезвычайных ситуациях, таких как засуха, так как вода в этих скважинах находится в течение длительного времени. Многие разломы имеют глубокие трещины с пористыми, проницаемыми для воды структурами, шириной до нескольких десятков метров и длиной в несколько тысяч метров. Опыт использования таких водоносных пластов на Ближнем Востоке, в Африке и других регионах показал их достаточно высокую эффективность.

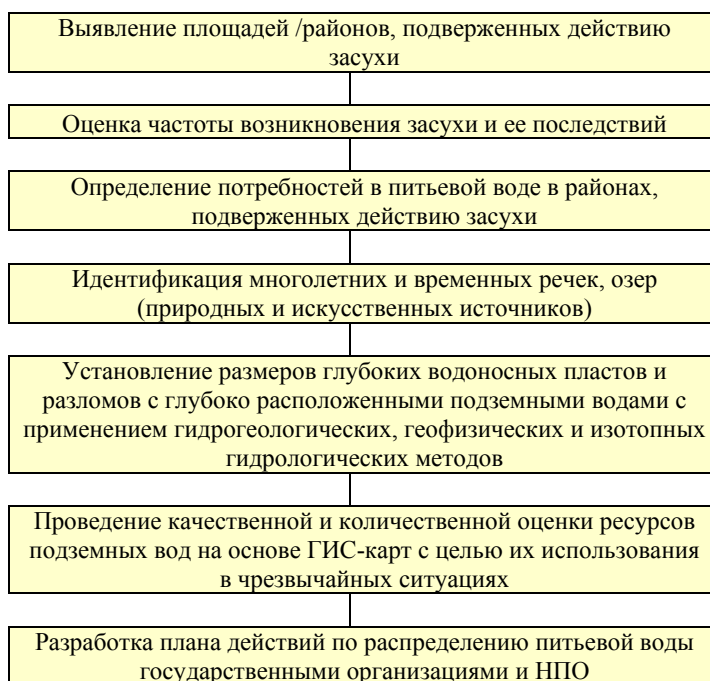
**Рис. 4.2.3** Концептуальная гидрогеологическая модель, основанная на данных радиоуглеродного анализа. Модель предназначена для обнаружения глубоких водоносных пластов с большим временем удержания воды, пригодных для использования в чрезвычайных ситуациях, например, в случае засухи (Сикхия и др., 2005)



Рискованное использование подземных вод является частью программы междисциплинарных и интегрированных исследований по борьбе с засухой. Различные действия государственных организаций на различных уровнях (местном, региональном и национальном) позволяют уменьшить последствия влияния засухи на население (Дудж, 2004). Разработка национальной политики по борьбе с засухой, планирование мер по борьбе с засухой, направленных на повышение эффективности действий правительства в случае стихийного бедствия – засухи, снижение последствий влияния засухи, интеграция всех секторов экономики, подверженных действию засухи, разработка политических мер, направленных на защиту населения, сохранение средств пропитания, повышение уровня образования и сотрудничество с международным сообществом – это наиболее важные составляющие интегрированных мер, принимаемых для борьбы с засухой. Приведенная ниже диаграмма показывает, какие меры необходимо предпринять для осуществления рискованного использования подземных вод во время засухи.

Например, в Индии, штаты Реджистан и Гуджарат, где часто возникает засуха, её последствия были значительно уменьшены посредством добычи воды из глубоких водоносных пластов, например, Лати Сэндстоун (3270 км<sup>2</sup>), где возраст воды, согласно данным радиоуглеродного анализа, составляет 7 000-10 000 лет.





После проведения оценки ресурсов подземных вод с применением гидрогеологических, геофизических и изотопных методов (CGWB, Индия) в этом районе было пробурено около 30 скважин.

### 4.3 Управление рисками при использовании подземных вод в регионах, подверженных землетрясениям

Одним из основных последствий землетрясения является повреждение и разрушение инфраструктуры, включая системы водоснабжения и канализации (рис. 4.3.1). Землетрясение в Кобо в 1995 г. (Япония) вызвало большие пожары, которые вышли из-под контроля, появление большого количества обрушений, откосов и оползней, широкомасштабное разжижение грунта и разрушение водопроводов, что создало условия для дефицита воды и голода. Наличие плана действий, которые необходимо предпринять во время или сразу после землетрясения, а также принятие превентивных мер позволяет спасти тысячи жизней.

Во время некоторых землетрясений наблюдались резкие изменения в уровне подземных вод (Токунага, 1999). Некоторые примеры показывают, что при землетрясении может происходить резкое понижение уровня воды в водоносных пластах, расположенных в топографически изолированных холмах или нагорьях, где находятся неглубокие водоносные пласты местного значения, гидрологически изолированные от водоносных пластов регионального размера. В некоторых случаях падение уровня подземных вод может продолжаться более года, что вызывает проблемы у населения, потребляющего воду из неглубоких подземных водоемов. Это явление часто связывают с резким повышением уровня воды в реках и ручьях, приводящего к небольшим наводнениям на равнинах и низинах, окружающих отдельно расположенные холмы и нагорья, что также может нанести ущерб местным структурам.

Более глубоко залегающие подземные воды также подвергаются действию землетрясений. Хорошо известно, что уровень подземных вод в ограниченных водоупорами пластах изменяется под действием изменений в объемном напряжении в земной коре, вызванных землетрясением.

**Рис. 4.3.1** Разрушение здания в районе городской застройки во время землетрясения в Бхуи (Индия) 26 января 2001 г. Землетрясение привело к полному разрушению всех основных коммуникаций, включая систему водоснабжения



Величина изменения уровня подземных вод зависит от магнитуды землетрясения, расстояния водоносного пласта от эпицентра источника землетрясения (рамка 4.3.1). В некоторых случаях понижение уровня подземных вод вследствие изменения напряжения в земной коре приводит к прекращению действия горячих источников – это явление может наблюдаться в течение нескольких месяцев. Также сообщалось о появлении новых источников после землетрясения, при этом высказывалось предложение об их использовании как временных источников воды.

В любом случае для того, чтобы установить месторасположение и исследовать водоносные пласты с низкой степенью уязвимости, необходимо изучать геологию, гидрогеологию и гидрохимию региона, уделяя особое внимание изменениям, которые могут произойти в результате землетрясения. Характеристики ожидаемых землетрясений (землетрясение со сдвигом, обычное землетрясение, обратный сдвиг и его магнитуда) также помогают прогнозировать пространственное распределение изменения уровня воды в глубоких водоносных пластах. Также как и в случае других стихийных бедствий, вода с высокой степенью защищенности из глубоких водоносных пластов может быть использована для водоснабжения населения. Однако в этом случае как часть оборудования для рискованного использования подземных вод необходимо иметь в наличии дизельные или бензиновые насосы, так как после землетрясения обычно нарушается электроснабжение. На рисунке 4.3.1 показан водоносный пласт с большим объемом воды в штате Бхуй (Индия), пострадавший от землетрясения в январе 2001 года. В результате проведения гидрогеологических и геофизических исследований и разведочного бурения скважин на глубине 150-170 м был обнаружен водоносный пласт в песчанике мелового периода, этот пласт можно использовать в качестве ресурса в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

#### 4.3.1 Взаимосвязь между режимом подземных вод в Центральной Европе и землетрясением в Юго-Восточной Азии (Поспишил, 2005)

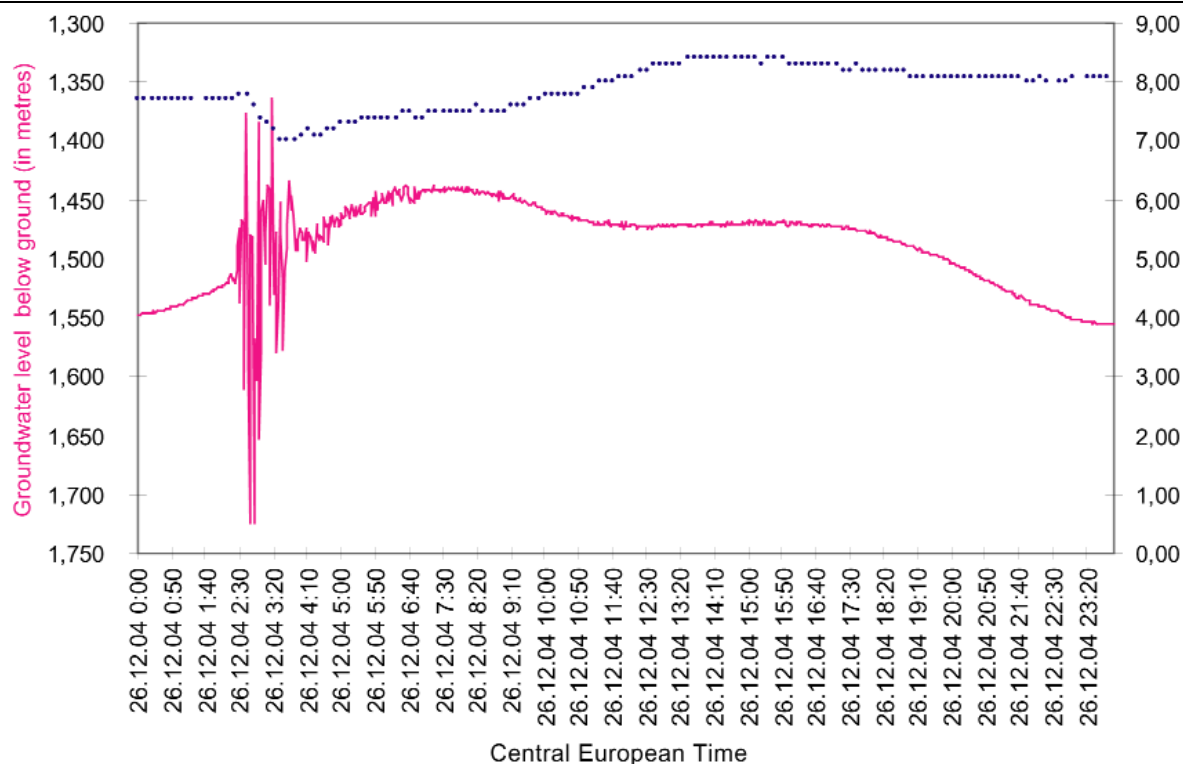
В Чешской республике наблюдения за подземными водами проводятся с 1974 г. на скважине глубиной 33 м. Скважина расположена на границе между Богемским массивом (Европейские Герциниды, мезо-Европа) и Альпийско-Карпатской системой (нео-Европа) в тектонической структуре, называемой пред-Карпатская впадина.

Исследуемый водоносный пласт расположен в прорезанных глубокими трещинами известняках, связанных тектонической системой разломов (пояс разломов?) с глубоким, ограниченным водоупором, водоносным пластом (возраст воды более 10000 лет). Первоначальная задача состояла в мониторинге режима подземных вод водоносного пласта регионального значения, затем в скважине стали изучать влияние приливов и землетрясений на уровень подземных вод. На рисунке показано изменение уровня подземных вод в исследуемой скважине после землетрясения в Юго-восточной Азии 26 декабря 2004 г. Быстрые и значительные изменения в регионе (с задержкой 12 мин), зарегистрированные на расстоянии более 10000 км, показывают высокую чувствительность подземных вод к сейсмической активности. В скважине были зарегистрированы и другие аналогичные изменения уровня подземных вод после землетрясений, происшедших после 1974 г.

Скважины для мониторинга подземных вод расположены в глубоких тектонических структурах между геологическими образованиями (орогенические пояса), они могут служить индикатором чувствительности подземных вод к сейсмической активности и оказывать помощь в рискованном использовании подземных вод в районах, где несколько раз происходили землетрясения.

##### Мониторинговая скважина VJ8, Слатиница, Чешская республика.

Влияние землетрясения в юго-восточной Азии на флуктуации уровня подземных вод в геологической структуре Богемский массив  
(измерения уровня подземных вод производились 26 декабря 2004 г.)



## 4.4 Управление рисками при использовании подземных вод в районах вулканической деятельности

Как и землетрясения, извержения вулканов происходят на границах геологических плит, в частности, вдоль границы плиты в Восточноафриканской рифтовой долине и границ сходящихся плит, например, поясов в Тихом океане. Наиболее активные вулканы находятся вдоль границ сходящихся плит. На рисунке 4.4.1 показан вулкан Махамеру, расположенный на Яве в Индонезии. Опасность при извержении вулканов представляют расплавленные породы, называемые лава, пирокластический поток, сель, наводнения, выбросы обломков породы, землетрясения и цунами. Сажа и газы, иногда ядовитые, могут подниматься в атмосферу до высоты в несколько тысяч метров, создавая не только непосредственную угрозу, но и вызывая долговременные климатические и атмосферные изменения. Для того, чтобы уменьшить опасность последствий извержения вулкана, необходимо знать какие места наиболее подвержены вулканической деятельности. Эту задачу можно, по крайней мере, частично решить посредством детального изучения геологических и геофизических особенностей районов, где происходят извержения вулканов. Исторические записи о вулканической активности позволяют определить частоту повторения извержений вулканов и их последствия. Предвестники извержения вулканов могут помочь в прогнозировании вулканической деятельности.

После извержения вулкана необходимо проводить мониторинг качества воды не только в открытых озерах, огороженных дамбами запрудах и водохранилищах, но также в мелких и глубоких скважинах. В местах сильного выпадения пепла необходимо снять покрытие от пепла с крыш домов и закрыть хранилища для воды. После выпадения пепла и растворения вулканических газов вода в открытых озерах и запрудах может стать мутной, ее качество ухудшается (например, повышается кислотность). Поэтому, если это возможно, необходимо заменить открытые источники воды подземными водами. Источники подземных вод должны использоваться на период существования опасности загрязнения также в районах эвакуации населения. Для обеспечения снабжения питьевой водой в чрезвычайных ситуациях необходимо проводить поиск, исследование и разработку наименее уязвимых водоносных горизонтов. Водоносные горизонты, расположенные на небольшой глубине, соответствуют требованиям, предъявляемым к источнику воды, используемому в чрезвычайной ситуации, так как они отделены от активной части вулканической деятельности, включающей движение магмы. Однако качество воды в неглубоких водоносных пластах также может пострадать от извержения вулкана. Вулканический пепел быстро вступает во взаимодействие с кислотным дождем, а на местности, окружающей вулкан, есть много трещин, углублений, образованных лавой, и других структур ландшафта, по которым может двигаться вода. Поэтому после выпадения дождя, качество воды в неглубоких водоносных пластах ухудшается вследствие инфильтрации выпавших осадков, которые взаимодействуют с вновь образованным вулканическим пеплом. Вода в глубоко расположенных водоносных пластах также может подвергаться действию извержения вулкана, так как летучие вещества в магме могут растворяться в подземных водах, а повышение температуры может привести к усилению взаимодействия между водой и породами, что, в свою очередь, может вызвать ухудшение качества воды. Образование новых разломов может привести к проникновению морской воды, в особенности на вулканических островах. Поэтому для уменьшения воздействия на питьевую воду в местах, подверженных извержениям вулканов, необходимо проводить интенсивный мониторинг количества и качества подземных вод и организовать отбор наиболее защищенных подземных вод.

*Рис. 4.4.1 Дымящийся вулкан Махамеру на острове Ява в Индонезии. Фотография сделана Жаном-Питером Нап (11 июля, 2004 г.)*



## **4.5 Управление рисками при использовании подземных вод в регионах, подверженных действию оползней**

Оползни и другие перемещения больших масс земли представляют опасность в холмистой или горной местности. По сравнению с землетрясениями, оползни, в основном, представляют собой явления местного значения, они обусловлены как природными, так и техногенными причинами. В качестве естественных причин можно назвать продолжительные дожди, землетрясения, крутые, неустойчивые склоны (естественная топография), к техногенным причинам, вызывающим оползни, относятся строительство дорог, сооружение дамб, эксплуатация природных ресурсов, например, вырубка леса. Оползни наносят большой ущерб инфраструктуре (дороги, мосты, системы водоснабжения, жилые дома, сады, леса, рис. 4.5.1), что часто приводит к жертвам и разрушениям. Оползни нарушают нормальное функционирование инфраструктуры, разрушают местные системы водоснабжения, которые необходимо восстанавливать при проведении ремонтных работ. Некоторые источники перестают функционировать, вместо них могут появиться другие. Оползни также могут влиять и на неглубоко расположенные пласты подземных вод.



*Рисунок 4.5.1 Оползень в провинции Джиангси, в юго-восточном Китае, 29 сентября 2004 г.*



Для подготовки организации рискованной добычи подземных вод в местах, подверженных действию оползней, необходимо принять следующие меры:

1. подготовить детальную карту зонирования районов, где существует угроза оползней, в карту должны быть включены данные литографии, геологии, геоморфологии, выветривания пород, структурных неоднородностей и углов наклона, густоты гидрографической сети, землепользования и расстояние от основных линий разломов и других геологических структур, чувствительных к оползням. Эта задача должна выполняться инженером-геологом, и полученная карта должна использоваться в виде исходной карты, на которую будет наноситься вся последующая информация.
2. составить гидрологические карты и карты подземных вод для мест, наиболее подверженных действию оползней, на картах необходимо отметить водоносные пласты, расположенные глубоко под зоной выветривания, которые не могут пострадать от действия оползней.
3. провести исследование водоносных пластов и оценку их ресурсов. Эти ресурсы могут использоваться в случае нарушений в работе или разрушения обычной системы водоснабжения в результате оползня.

## **4.6 Управление рисками при использовании подземных вод в районах, подверженных действию цунами**

Цунами – это большие волны, образующиеся в море или океане под действием любого процесса, вызывающего перемещение больших масс воды. Таким явлением может быть большое землетрясение на дне моря (с магнитудой выше 7.0 баллов по шкале Рихтера на глубине <30 км), оползень или извержение вулкана. Волны цунами движутся с большой скоростью и несут большую энергию, они разрушают прибрежные поселки, размывают земли, занятые посевными культурами, уносят суда далеко в море или выбрасывают на



берег. Они частично или полностью разрушают инфраструктуру, включая систему водоснабжения, часто полностью парализуют подачу воды (рис. 4.6.1)

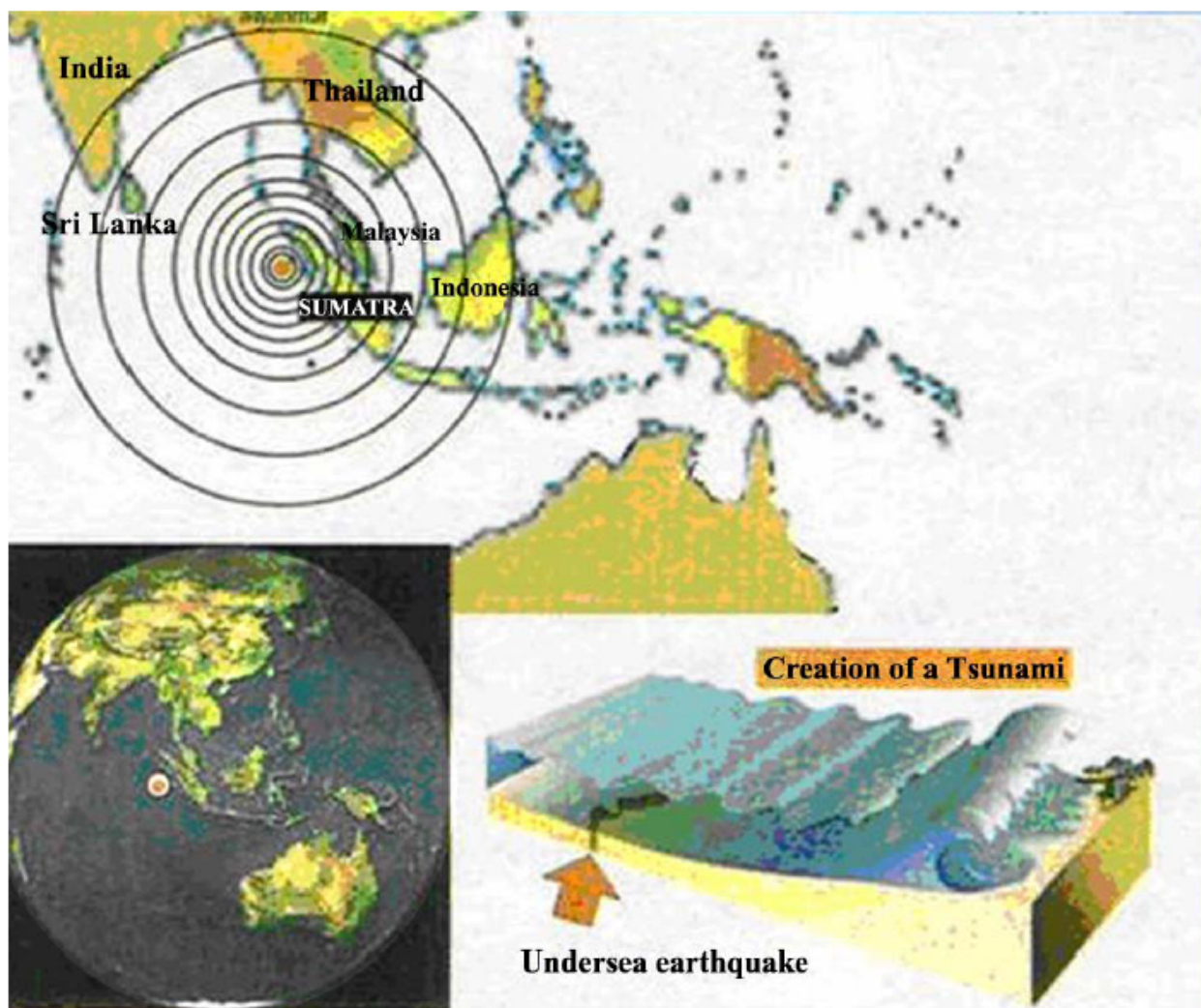
**Рисунок 4.6.1** Разрушительное цунами, которое обрушилось на берега Юго-восточной Азии 26 декабря 2004 г., принесло огромные разрушения и жертвы. На снимке показаны результаты разрушений после прохождения цунами в Тамилнаду (Индия)



Такое разрушительное цунами обрушилось на берега юго-восточной Азии 26 декабря 2004 г. (рис. 4.6.2). Оно было вызвано землетрясением магнитудой 9.1 балла у берегов Индонезии. По оценкам специалистов это цунами унесло почти 300000 жизней в Индонезии, Шри-Ланке и Индии. Цунами довольно часто наблюдаются в Тихом и Индийском океанах, в регионах, включающих Японию, Тайвань, Китай, Филиппины и Индонезию, также цунами регистрировались в водах Чили и Перу. В Европе цунами были зарегистрированы в водах Италии и Португалии. Цунами, как и наводнения, наносят большой вред системам водоснабжения. Цунами приводят к затоплению прибрежных скважин, сильному загрязнению поверхностных вод в искусственных водохранилищах и подземных вод в неглубоко расположенных водоносных пластах, вода становится непригодной для питья, электрические установки, приводящие в действие насосы для добычи воды, часто вырываются с корнем, что приводит к отсутствию питьевой воды и отсутствию воды для противоосмотических опресняющих растений.

Для управления рисками в случае цунами, как и в случае других геологических или климатических стихийных бедствий, необходимо проводить анализ исторических данных, который включает изучение сейсмичности региона для установления периода повторяемости землетрясений, пространственных расстояний между местами наиболее сильных разрушений, создаваемых землетрясениями, использование компьютерного моделирования для оценки площади, которая может быть затоплена в результате цунами и создание карт с указанием районов, подверженных действию цунами, чтобы планировать землепользование с учетом риска возникновения цунами. Другим важным аспектом политики управления рисками является создание систем оповещения, таких как Тихоокеанская система оповещения, которая начала работать еще в 1940х годах. В настоящее время устанавливается система оповещения в Индийском океане. Однако даже эта система оповещения имеет ограниченную область применения – она помогает спасти людей, но оставляет слишком мало времени для защиты инфраструктуры, например, системы водоснабжения.

**Рисунок 4.6.2 Эпицентр сильного землетрясения 26 декабря 2004 г., которое вызвало разрушительное цунами**



Во время цунами пресная подземная вода в водоносных пластах, расположенных недалеко от поверхности земли, становится соленой. После цунами в течение нескольких недель приходится откачивать загрязненную воду из подземных хранилищ, чтобы довести ее качество до стандартов питьевой воды. Просачивание морской воды, которая остается в заводах, озерах и других местах, приводит к дальнейшему ухудшению качества подземных вод в водоносных пластах, расположенных близко к поверхности земли. Гидравлическое давление трансгрессии цунами может нарушить равновесие между пресной и соленой водой, что приводит к их перемешиванию, ухудшению качества пресной воды и смещению вглубь, в сторону суши, границы раздела между пресной и соленой водой. Кроме того, цунами может привести к загрязнению водоносных горизонтов, расположенных близко к поверхности земли, вследствие инфильтрации химикатов, топлива, пестицидов и лекарственных веществ, так как склады в прибрежных районах часто имеют повреждения после цунами.

Расположенные глубоко под землей прибрежные водоносные горизонты с зоной пополнения, находящейся далеко от берега не пострадают от цунами. Такие подземные воды можно использовать в качестве источника питьевой воды в чрезвычайных ситуациях. Поэтому необходимо обнаружить такие водоносные пласты, исследовать и оценить их запасы или даже начать разработку. Например, в области Куддалор, Тамил Наду, Южная Индия, разрушенной во время цунами 2004 г., в качестве источника питьевой воды можно использовать водоносный пласт Куддалор, зона питания которого находится на расстоянии 30-40 км от побережья. Водоносный пласт простирается до прибрежной зоны, он имеет высокую водопроницаемость и скорость пополнения, поэтому его можно использовать в течение длительного времени после стихийного бедствия (Сукхия и др., 1996).

Особое внимание следует обратить на острова, так как здесь количество пресной воды ограничено; она содержится только в песчаных водоносных пластах на глубине 4-5 м или в коралловых известняках. Воды в таких пластах содержится мало; и ее качество часто не соответствует стандартам для питьевой воды. В качестве превентивной меры рекомендуется располагать открытые скважины на возвышенных местах, где линзы пресной воды толще и окружены высокой прочной парапетной стенкой, скважина должна быть закрыта крышкой, что не позволит морской воде попадать внутрь. Откачка или «снятие» морской воды, попавшей в скважину, может улучшить качество воды. Во время стихийных бедствий удобно использовать портативные опреснительные установки, которые используют загрязненную воду из открытых скважин. В качестве дополнительного источника воды можно использовать родники.

## **4.7 Управление рисками при использовании подземных вод в регионах, подверженных действию ураганов**

Наиболее разрушительными атмосферными явлениями являются бури, циклоны, ураганы и торнадо. Тропические циклоны часто наблюдаются в Индии, Бангладеш и Филиппинах, а ураганы и Торнадо – в Японии и США. Ураганы и штормы (рис. 4.7.1) причиняют различный ущерб. Приливная волна при урагане на 3-15 м выше обычной волны, она проникает на 15-25 км вглубь суши, вызывая разрушения, аналогичные разрушениям после торнадо. Скорость штормового ветра, составляет от 80 до 250 км в час, он наносит ущерб деревьям, посевам, зданиям и инфраструктуре. Сильные дожди до и после урагана создают разрушительные наводнения.

Траектории 21 циклона, обрушившихся на индийское побережье и Бангладеш за период с 1876 по 1993 г, показывают, что 10 из 13 ураганов сформировались в Бенгальском заливе, между 8-16 град. северной широты и 88-98 град. восточной долготы. Этот факт показывает высокую повторяемость ураганов в данном регионе и необходимость принятия превентивных мер, описанных в данной работе.

Примером сильного циклона является мощный тропический циклон, обрушившийся на побережье Орисса в Индии 29 октября 1999 г., скорость ветра циклона достигала 250 км в час. Он парализовал жизнь целого штата, его жертвами стали 9887 человек. Огромная штормовая волна проникла на 15 км вглубь суши. В некоторых местах суммарное количество выпавших осадков составило 60 см. Наземный мониторинг, проведенный Индийским Центром по подземным водам, показал, что большая часть выкопанных колодцев была затоплена морской водой, что привело к значительному ухудшению качества воды, тогда как на расстоянии 20 км от побережья заметного ухудшения качества воды не наблюдалось. В более глубоких водоносных горизонтах соленость воды не повысилась. На основе гидрогеологических исследований и изучения подземных вод, проведенных Индийским центром подземных вод, в районе, подверженном действию ураганов, были установлены координаты водоносных пластов с пресной водой и было пробурено 10 глубоких скважин для использования в случае возникновения циклона.



**Рис. 4.7.1** Фотография урагана в штате Флорида (США), который вызвал стихийное бедствие, создавшее чрезвычайную ситуацию



## 5. Изыскание и исследование ресурсов подземных вод для использования в чрезвычайных ситуациях

В данной главе, в основном, рассматриваются проблемы изыскания и исследования ресурсов подземных вод, имеющих естественную защиту от вредных природных и антропогенных воздействий. В рамках данного проекта предполагается, что такие ресурсы расположены в глубоко залегающих, в основном, напорных водоносных горизонтах с возобновляемыми и не возобновляемыми ресурсами подземных вод. Разведка и изучение ресурсов подземных вод требует применения точных методов и использования междисциплинарных подходов. В исследованиях используются сложные современные приборы, применяемые для определения характеристик геологической среды и структур, образующих водоносные горизонты. Классические методы исследования подземных вод – геология, гидрология и гидрохимия – используются совместно с методами геофизики, изотопной гидрологии, дистанционного зондирования и математического моделирования. Интеграция этих методов позволяет разработать концептуальную модель подземных вод, определить режим движения и происхождение подземных вод, произвести датирование вод – знание всех этих характеристик необходимо для определения условий эксплуатации подземных вод в чрезвычайных ситуациях. Для представления результатов комплексных исследований ресурсов подземных вод используются гидрологические карты, которые показывают места залегания подземных горизонтов, содержащих приемлемые для использования подземные воды, а также карты уязвимости подземных вод.

Представленные ниже разделы содержат описание методов, используемых для разведки, исследования и разработки месторождений, в основном, глубоких подземных вод с низким уровнем уязвимости для использования в чрезвычайных ситуациях.

### 5.1 Геология

Геологические условия обуславливают залегание и движение подземных вод, а также геологические риски (землетрясения, вулканическую активность, оползни), которые каким-либо образом могут влиять на окружающую среду и которая в свою очередь включает ресурсы подземных вод, таким образом оказывая влияние на человеческие жизни. Земля представляет собой динамическую, эволюционирующую систему. Внешний слой литосферы состоит из нескольких плит, которые двигаются по отношению друг к другу.

#### Геологические риски

Большинство землетрясений происходит в тектонически активных регионах, где плиты литосферы, на которые налагаются континенты и океанские бассейны, взаимодействуют – таких как вдоль по кольцу пояса Тихого океана, горных зонах, простирающихся от запада Средиземного моря до Малой Азии, от Гималаев до Индонезии и Центральной Азии. Среди первичных последствий землетрясений можно назвать разрушение строений, сопровождающихся вторичными последствиями, такими как пожары, цунами, наводнения, просадка, поднятие грунта, оползни и изменение уровней грунтовых вод (Келлер, 1976). Таким образом, основное внимание предложенных мероприятий по спасению в рамках системы использования подземных вод в чрезвычайных ситуациях должно быть нацелено на геологически нестабильные зоны, в которых известно повторение землетрясений. Цунами в северной части Индийского океана, спровоцированное подводными землетрясениями недалеко от острова Суматра в декабре 2004 года, оставило за собой проблемы водоснабжения и санитарии в огромных масштабах. Так как ущерб был ограничен в основном низко расположенными регионами, расположенными вдоль приморского побережья, основное внимание было уделено организации аварийного водоснабжения из ресурсов подземных вод, которые нужно было искать и организовывать в основном в прибрежных и смежных с ними водоносных пластах.

**Вулканическая** активность является еще одним проявлением геологических процессов. Вулканическая активность относится к тектонике плит. Приблизительно 80% всех активных вулканов расположено в «огненном кольце», окаймляющем Тихий океан (Келлер, 1976), меньшее в процентном соотношении количество – в Атлантическом океане, Средиземном море, Индийском океане и в других местах. События,



связанные с деятельностью вулканов, вызывают гибель людей, разрушения окружающей среды и ущерб урожаю, заражение и увеличение кислотности поверхностных вод; разрушают инфраструктуру и всегда наносят ущерб источникам питьевой воды, которые требуют скорейшей замены.

**Оползни** могут нарушить инфраструктуру, включая системы водоснабжения. В определенной степени, их можно прогнозировать на основании геологических и геоморфологических условий. Оползни происходят, в большинстве случаев, на склонах и в районах, где нарушена стабильность земных масс. Обычно они провоцируются вторичными факторами, такими как сильные дожди, землетрясения и вмешательство человека, часто в регионах, отмеченных ранее произошедшими или «окаменелыми» оползнями. Муниципалитеты Гватемалы, Никарагуа и других стран Карибского региона, пострадавших за последнее десятилетие от оползней, вызванных ураганами и сильными дождями, признали необходимость своевременной замены поврежденных систем водоснабжения.

## Геологические исследования и составление карт

Залегание, движение и свойства подземных вод зависят в значительной степени от петрологического состава пород водоносных пластов и геологической структуры коры земли. Петрологический состав пород влияет на физические и механические свойства, включая их пористость и проницаемость. Он также влияет на геохимические процессы и химический состав подземных вод. Геологическая структура и поверхностная морфология влияют на пространственное распределение системы движения подземных вод. Оба фактора необходимо исследовать для определения особых свойств подземной части гидрологического цикла. В сравнении с поверхностной гидрологией, подземные воды передвигаются медленно и демонстрируют длительные периоды пребывания в одной структуре.

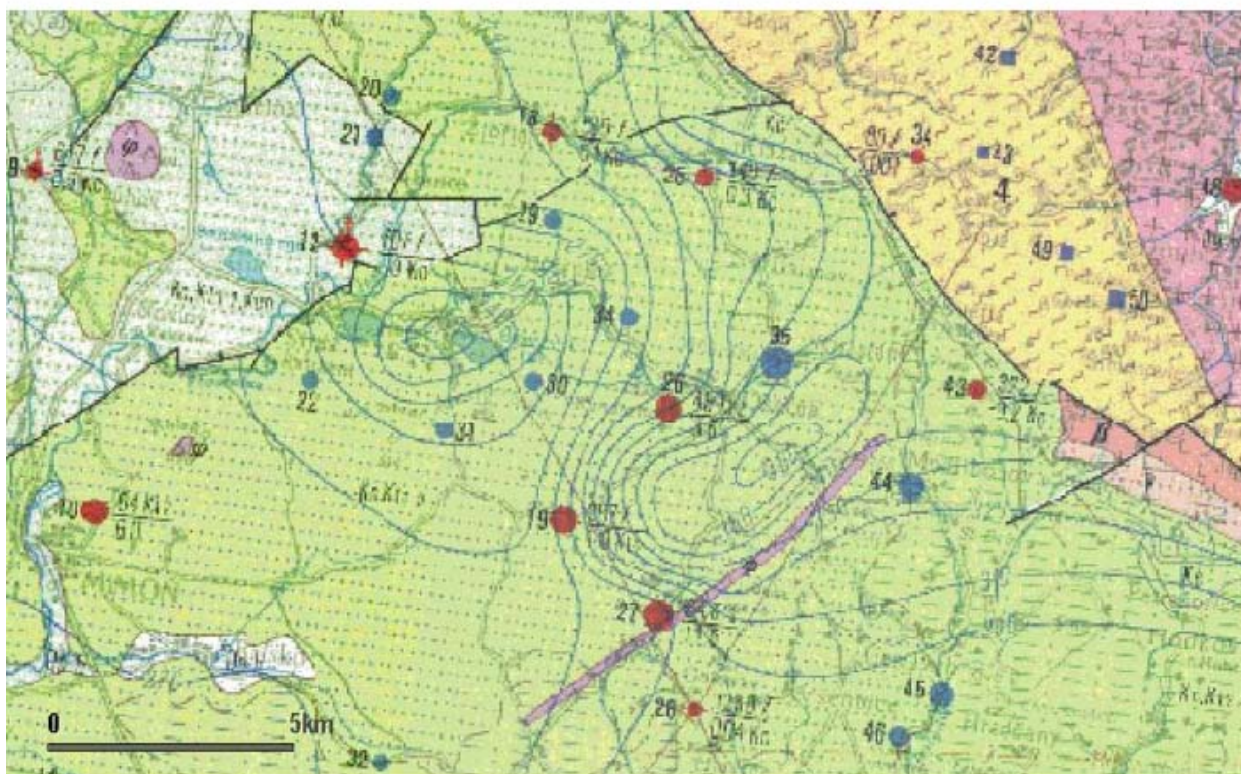
Анализ геологической структуры, в частности, требуется для получения общей картины тектонических условий и развития (тектонических фаз) изучаемого региона. Трещины в твердой породе, возникающие в ранних горообразующих фазах, часто затвердевают под действием вторичных минералов и в связи с этим становятся непроницаемыми, в то время как трещины, возникшие после горообразующего периода, являются в большинстве случаев открытыми и проницаемыми. Еще одним важным фактором является то, находятся ли системы трещиноватости в сжатом или растянутом региональном поле напряжения.

**Геологические карты** и разрезы, а также спутниковые фотографии и аэрофотоснимки иллюстрируют геологические свойства региона. Они могут применяться как вспомогательный инструмент при исследовании ресурсов подземных вод и спасательных операциях в регионах, подверженным геологическим нарушениям. Геологическая карта должна отображать состав пород и геологическую структуру исследуемого региона. Эти факторы должны оказывать определяющее влияние на залегание подземных вод, систему их движения и эволюцию в геологическом прошлом. Геологическая карта должна также отображать такие свойства, как родники, болота, влажные места, покрывающие образования; указывать места окаменелых оползней и места их потенциального повторения.

Геологические карты являются также очень полезным инструментом оценки влияния геологических событий на окружающую среду и, в комбинации с анализом тектонической структуры и историческими данными, указывают на регионы, подверженные геологическим рискам. Тем не менее, необходимо отметить, что землетрясения и вулканическая деятельность представляют собой явления, вызванные процессами, происходящими внутри земли, в то время как, оползень, хотя иногда и провоцируется вышеуказанными причинами, представляет собой процесс, на который влияют силы, действующие на поверхности земли, в основном, в выветренной зоне.

Геологические карты составляются в разных масштабах. Карты, на которых изображаются тектонические зоны с сейсмической деятельностью, составляются в мелком масштабе, так как они представляют собой крупные регионы и континенты, в то время как карты, составленные для изображения особых явлений, таких как оползни, составляются в крупном масштабе с целью детального представления геологических явлений. Карты должны быть иллюстративными, понятными и соответствовать предъявляемым требованиям. Однако геологические карты должны быть универсальными и могут быть дополнены специальными картами, ориентированными на особые гидрогеологические (Рис. 5.1.1), геотехнические или экологические проблемы.

**Рисунок 5.1.1. Часть гидрогеологической карты в масштабе 1:200,000 (исходный масштаб) региона северной Богемии, Чешской Республики**



Преобладающие слои мелового периода в бассейне представлены в разных оттенках зеленого. Водоносные пласты бассейна подземных вод мелового периода, обозначенные стратиграфическими символами, представляют собой наиболее продуктивные водоносные пласты Чешской Республики. Кристаллические и вулканические породы, представленные гранитом и филлитом, выделены соответственно фиолетовым и желтым цветами; породы верхне-палеозойского периода – песчаники и мелафиры – выделены как две коричневые полосы; третичные неовулканиды выделены в виде фиолетовых участков; аллювиальные равнины представлены в сером цвете; ряды проницаемости водоносных пластов выделены штриховкой различных цветов, а изопьестические (равного давления) линии голубого цвета, включающие конусообразную впадину, вызванную обезвоживанием уранового рудника. Красные круги представляют собой скважины, а голубые круги – родники.

## 5.2 Гидрогеология

Подземные воды залегают и циркулируют в литосфере и представляют собой современные и исторические гидрологические циклы. Изучение подземных вод требует междисциплинарного подхода для более глубокого понимания их режима течения, особенно для возобновляемых и невозобновляемых подземных вод в глубоко залегающих водоносных пластах. Тем не менее, знание геологических условий и тектонической структуры представляет собой ключевой элемент в исследовании и разработке ресурсов подземных вод.

### Залегание и движение подземных вод в разных горно-геологических условиях

Подземные воды залегают в горной породе в пустотах различной формы, размеров и происхождения. Таким образом, залегание подземных вод, их размер и движение зависят от состава пород и их гидравлических свойств. Способность породы передавать воду через пустоты называется проницаемостью. Потенциальное содержание воды и проницаемость пород в основном зависят от пористости пород. Как на проницаемость, так и на пористость влияют геологические факторы и процессы, которые всегда нужно принимать во внимание при изучении системы течения подземных вод (вставка 5.2.1).

Типы пустот в породе определяют поведение воды, особенно ее движение.

Однако только в однородных (например, в осадочных) горно-геологических условиях с пористой породой проявляются законы движения подземных вод.

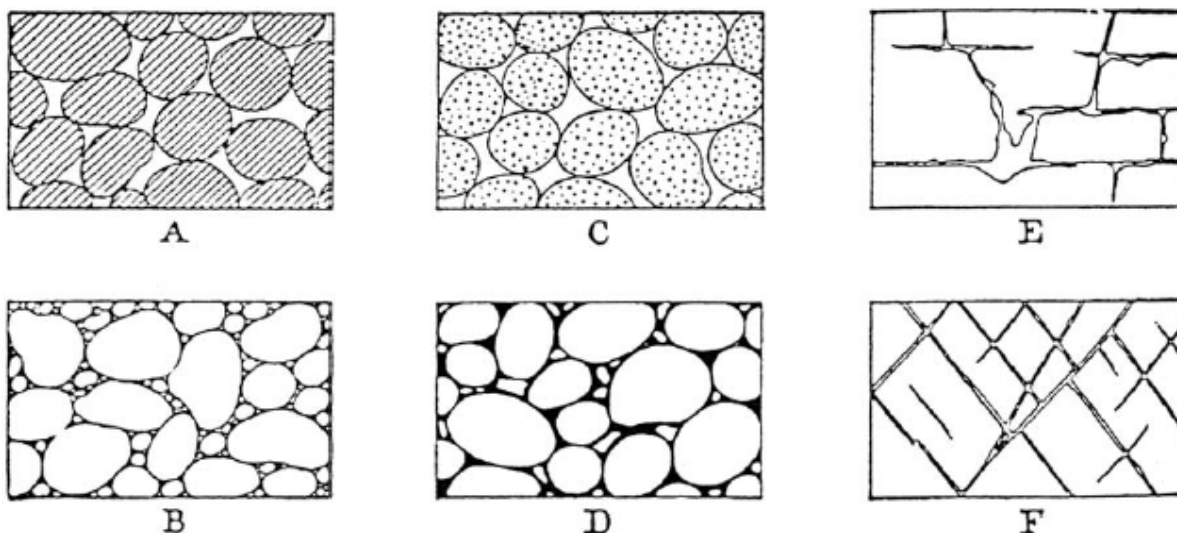
### 5.2.1 Основные типы пустот в горных породах

По гидравлическим свойствам и геологическому происхождению выделяются следующие основные типы пустот в горных породах, которые становятся путями для течения и циркуляции подземных вод (см. рис.5.2.1):

- **Поры**, например, пустоты между зернами неуплотненных, а также плотных обломочных отложений (например, отложений, состоящих из фрагментов, образовавшихся из более старых пород), или неплотного вулканического туфа.
- **Трещины**. Термин «трещина» используется здесь в значении разлома или раскола в месте, где имеется четкое разделение между поверхностями.
- **Впадины**, то есть, карстовые пустоты, возникающие в растворимых породах, образующихся в результате химического растворения или выщелачивания и просачивания воды; и лавовые трубки (полые пространства ниже поверхности затвердевающего потока лавы, образовавшиеся в результате выхода расплавленной лавы после образования поверхностной корки (Геологический словарь, 1980).

Карстовые пустоты обычно встречаются в растворимых карбонатных породах, в то время как лавовые каналы приурочены к вулканическим образованиям.

Рис. 5.2.1 Диаграмма, на которой представлены несколько типов пустот в горных породах, и соотношение между текстурой и пористостью (по Майнцеру, 1942)



- (A) Хорошо отсортированное осадочное отложение с высокой степенью пористости (первичной пористостью),
- (B) Плохо отсортированное осадочное отложение с низкой степенью пористости,
- (C) Хорошо отсортированное осадочное отложение, состоящее из гальки, которая сама по себе является пористой, что делает отложение в целом очень пористым,
- (D) Плохо отсортированное осадочное отложение, степень пористости которого уменьшилась в результате отложений минерального вещества в пустотах,
- (E) Порода, ставшая пористой в результате проникновения раствора или карстифицированная порода – вторичная пористость,
- (F) Порода, ставшая пористой в результате растрескивания.

### Проницаемость основных типов горных пород

Изверженная порода (изверженная, а также вулканическая) и метаморфическая порода является проницаемой вдоль трещин. С глубиной трещины закрываются и породы становятся менее проницаемыми. При химическом/механическом выветривании обогащенные кварцем породы образуют проницаемые песчаные наносы у поверхности. Породы, не богатые кварцем, могут распадаться при химическом выветривании на глинистые минералы, которые образуют менее проницаемые грунты и закупоривают трещины в подстилающей

коренной породе. Циркуляция более глубоко залегающих подземных вод происходит вдоль глубоких разломов в тектонических зонах, о чем свидетельствуют термальные источники.

Осадочные горные породы сильно отличаются по своему составу. Они демонстрируют все типы пустот (поры, трещины и карстовые пустоты), а также все типы проницаемости. При оценке течения подземных вод и поведения загрязняющих веществ и трассеров в такой горной среде необходимо рассматривать вероятность «двойной» или двойственной (например, первичной и вторичной) пористости. Большинство значительных водоносных пластов и бассейнов подземных вод образовано в осадочных породах. Карбонатные породы часто карстифицированы.

Современные рыхлые и несвязанные отложения включают различные типы гравия, песка и глины, иногда содержащие органические вещества. Они встречаются в виде наносов; озерных, морских и дельтовых отложений; отложений алювиальных конусов межгорных впадин; и флювиогляциальных отложений, вымытых из ледниковых морен. Несвязанные и мощные отложения предрасположены к сжатию и опусканию поверхности в случаях, когда давление пор снижается в результате добычи подземной воды.

В региональном масштабе гидрогеология должна рассматривать основные тектонические структуры и сосредоточенные неоднородности.

При исследовании и составлении региональной модели движения подземных вод необходимо обратить внимание и включить в нее неровности таких структур, которые могли бы выступать в роли путей или барьеров для подземных вод.

## **Гидрогеологическая система**

Гидрогеологическая система состоит из ненасыщенной зоны (частично заполненные поры) и насыщенной зоны (полностью заполненные поры) с постоянным движением подземных вод в проницаемом материале. Водоносный пласт определяется как насыщенное водоносное образование, которое можно использовать для получения пригодных объемов воды.

Полностью насыщенный водоносный горизонт с залегающим выше и ниже сверхпрочным водоупором называется ограниченным или напорным.

Водоносный горизонт называется артезианским, когда пьезометрический (напорный) уровень располагается выше поверхности земли. Водоносный пласт, содержащий подземные воды со свободной поверхностью, или горизонт грунтовых вод, и получающий питание через ненасыщенную зону, называется неограниченным или фреатическим. Безнапорные водоносные горизонт или горизонт на уровне грунтовых вод, являются очень уязвимыми к воздействию внешних условий и человека и часто подвергаются загрязнению. Уровень уязвимости глубоко расположенных водоносных горизонтов, в целом, низок. Такие водоносные горизонты представляют собой важный источник безопасной воды, пригодной, например, для системы использования подземных вод в чрезвычайных ситуациях. Бассейны подземных вод состоят из водоносных горизонт, геометрия (размеры) и сложность которых зависит от горно-геологических условий и тектонической структуры. Пример напорных и безнапорных водоносных пластов (бассейн артезианских подземных вод) представлен на Рис. 5.2.2.

При поиске подземных вод в качестве аварийного источника важным аспектом должно быть качество подземных вод.

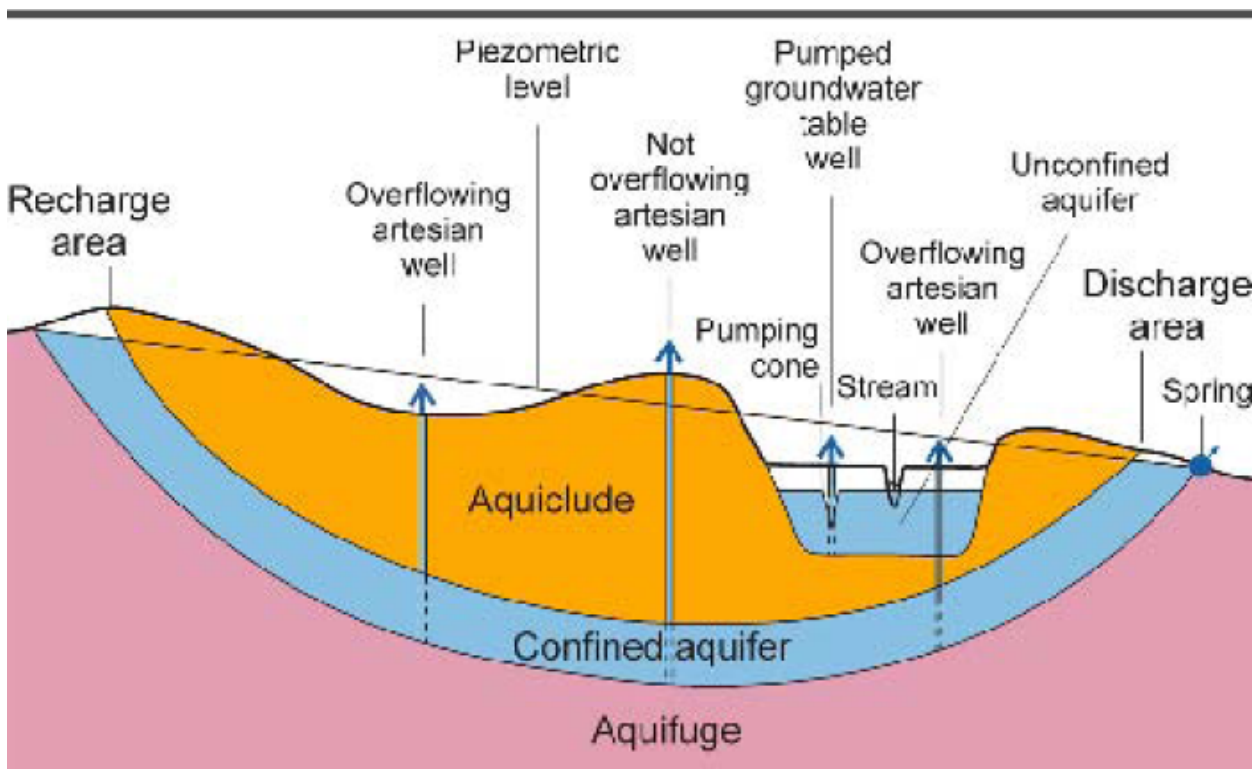
Для этой цели было предложено использовать приближенное разделение горных пород на три группы (Мейзор, 1991):

- 1) породы, в которых присутствие свежей подземной воды является нормальным явлением, то есть, породы, которые вносят вклад в воду в виде чрезвычайно малых объемов соли (кристаллические обломки; выщелоченный песчаник),
- 2) карбонатные породы, которые вносят вклад в виде растворенного вещества, но поддерживает хорошее качество питьевой воды, и
- 3) породы, которые обогащают воду значительными объемами растворенной соли, часто превращая ее в непитьевую (морское отложение; содержащее эвапориты).

## **Уязвимость подземных вод**

В целом считается, что подповерхностные условия обеспечивают некоторую степень защиты подземным водам от воздействий природы и человека. Непрочность этой защиты приводит к уязвимости подземных вод, которая является одной из важных характеристик системы подземных вод. Она зависит от взаимодействия системы с тем, что ее окружает, влиянием человека и природы. Очевидно, что уязвимость должна в первую очередь рассматриваться как важная характеристика подземных вод, которые будут использоваться в чрезвычайных ситуациях. Мы должны рассматривать два показателя уязвимости подземных вод: систему течения подземных вод и продолжительность пребывания подземных вод в водоносном пласте.

Рисунок 5.2.2 Упрощенный пример артезианского бассейна подземных вод



На рисунке показаны два водоносных пласта (оба голубого цвета): верхний пласт является безнапорным, зеркало подземных вод этого пласта находится на аллювиальной равнине. Более глубокий водоносный пласт является упорным, его пьезометрический уровень имеет наклон от зоны питания к зоне разгрузки. Скважины показаны стрелками, направленными вверх (знак, обозначающий бурение). Родник обеспечивает естественный сток системы подземных вод. Скважины для добычи воды из напорного горизонта являются артезианскими, вода добывается методом самоизлива, так как пьезометрические уровни находятся на поверхности. Скважины, где при добыче воды не используется самоизлив, называются суб-артезианскими.

Уязвимость и режим течения подземных вод можно проанализировать с помощью гидравлики подземных вод и изотопных методов (раздел 5.4). Эти методы помогают оценить скорость течения и время пребывания, а также ввести такие дополнительные аспекты в классический гидрологический подход к оценке ресурсов подземных вод и их защите как пути транспортировки загрязняющих веществ и добавление загрязняющих веществ через смешивание. При проведении изыскания ресурсов подземных вод для использования в чрезвычайных ситуациях необходимо обратить особое внимание на глубоко залегающие водоносные пласты, при исследовании которых важную роль могут играть изотопные методы.

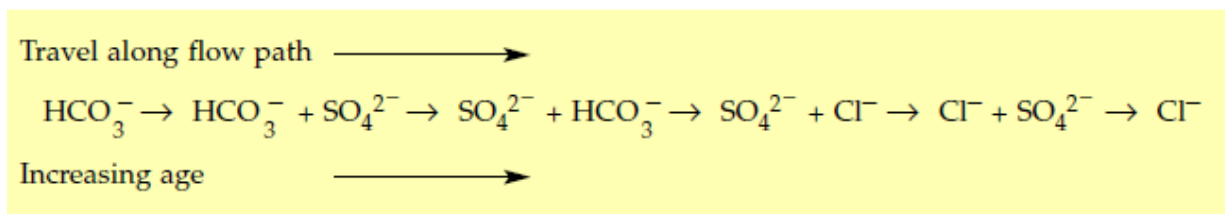
## 5.3 Гидрохимия

Подземные воды содержат целый ряд растворенных твердых веществ в концентрациях, которые обычно настолько малы, что они диссоциированы до ионов. Подземные воды также содержат небольшое количество органических веществ и газы. Химический состав подземных вод является результатом очень сложных гидрогеохимических и биологических процессов, происходящих в системе грунт-подземные воды-порода. Ионный состав подземных вод определяется, в частности: 1) химическим составом дождей, талого снега и поверхностных вод, просачивающихся под поверхность, 2) свойствами грунта и средой, в которой происходит движение подземных вод, 3) продолжительностью и площадью поверхности контакта между подземными водами и геологическими материалами по пути движения, 4) скоростью геохимических (растворение, осаждение, гидролиз, адсорбция/десорбция, ионообмен, окисление/восстановление), физических (рассеяние, адвекция, фильтрация), термических и микробиологических процессов (микробный метаболизм и разложение, клеточный синтез), которые происходят под поверхностью, 5) концентрацией растворенных газов, в частности, кислорода и углекислого газа.



Существуют различия в химическом составе подземных вод по-горизонтали (зоны питания/разгрузки) и по-вертикали (мелкие зоны окисления/глубокие зоны восстановления), что, в частности, типично для подземных вод в осадочных бассейнах. В целом, подземные воды в зонах питания и мелкие водоносные пласты имеют более низкое содержание растворенного твердого вещества, чем подземные воды в зонах разгрузки и в более глубоких водоносных пластах.

Увеличение общего количества растворенного твердого вещества и последовательность превращения анионов  $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$  отражают переход из окислительной среды (мелкая зона) в восстановительную среду (глубокая зона) и должны наблюдаться в вертикальном/возрастном профиле системы подземных вод, что было выражено Чеботаревым(1955) в уравнении:



В кристаллической или чисто кремнистой осадочной породе, последовательность Чеботарева может выполняться для отношений ионов по глубине, но отношения концентраций растворенных твердых веществ могут быть даже обратными (Верхаген, 1992).

Основываясь на последовательности превращений анионов Чеботарева, Доменико (1972) определил три основные зоны в больших и глубоких бассейнах подземных вод, где наблюдается корреляция превращений с глубиной. Постепенные изменения в анионном составе подземных вод зависят от количества минералов и интенсивности молекулярной диффузии.

Активная циркуляция подземных вод, более низкая температура и кратковременный контакт подземных вод с выщелоченными из породы веществами являются типичными характеристиками зон разгрузки и сильно уязвимых внутриматериковых водоносных пластов, расположенных близко к поверхности. В этих зонах подземные воды имеют низкое общее содержание растворенного твердого вещества, а  $\text{HCO}_3^-$  является основным анионом. В более глубоких промежуточных зонах температура, давление, время и поверхность контакта с реактивными горными породами постепенно увеличиваются по мере уменьшения скорости течения подземных вод. Это вызывает увеличение растворенного твердого вещества с глубиной и преобладание ионов сульфата. В системах глубоких подземных вод при незначительной уязвимости, в которых промывка подземными водами минимальна, хлорид постепенно становится доминирующим анионом, а подземные воды часто имеют высокую концентрацию растворенных твердых веществ. Однако описанное выше зональное распределение подземных вод не может применяться к мелким прибрежным водоносным пластам, в которых состав подземных вод часто подвержен влиянию соленой воды.

Как водоносные слои средней глубины, так и глубокие водоносные слои являются важными источниками подземных вод для использования в чрезвычайных ситуациях.

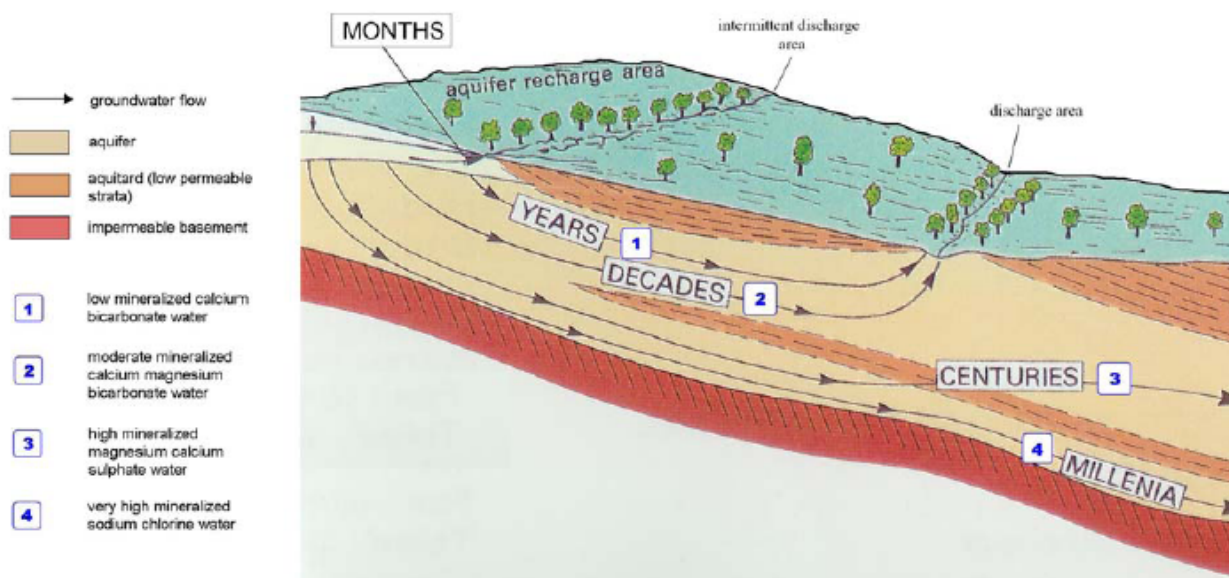
На Рис. 5.3.1 показана последовательность, отражающая постепенный переход по направлению течения воды от свежей гидрокарбонатной подземной воды к сульфатной воде, а затем к минерализованной хлоридной воде.

Мобильность подземных вод в различных зонах можно приблизительно классифицировать в соответствии с возрастом подземных вод. В соответствии с данными Фриза и Черри (1979), в некоторых осадочных бассейнах подземные воды в верхней части могут иметь возраст от одного до 10 лет, в то время как в глубоких бассейнах возраст воды обычно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч лет. Соленая, обогащенная хлором реликтовая вода в глубокой зоне, обычно имеет возраст от нескольких тысяч до нескольких миллионов лет.

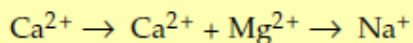
Содержание  $\text{HCO}_3^-$  в подземных водах в большинстве случаев обусловлено содержанием биогенного  $\text{CO}_2$  в почвенной зоне и растворением кальцита и доломита, или разложением полевого шпата вулканического происхождения в зависимости от горно-геологических условий. Содержание сульфата в подземных водах зависит от присутствия растворимых сульфатсодержащих металлов (гипс,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ангидрит  $\text{CaSO}_4$  и отложения калийных солей), металлических сульфидных минералов и отложения морских аэрозолей. Высокое содержание хлора в глубоких подземных водах зависит, в первую очередь, от присутствия хлоридо-содержащих осадочных пород, их растворимого галита ( $\text{NaCl}$ ) и содержания сильвина ( $\text{KCl}$ ), концентрация хлора сильно зависит от площади контактирующей поверхности и времени нахождения в этой среде.

Последовательность превращений катионов в грунтовых водах аналогична последовательности превращений анионов Чеботарева, однако ее сложно определить, так как катионы имеют больше схем превращений. Присутствие основных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ) сильно зависит от растворимости источника минералов, а также типа, интенсивности и скорости процессов катионного обмена.

**Рисунок 5.3.1** Пример структуры движения, возраста и гидрохимического состава подземных вод (не изменять масштаб, адаптировано из материалов геологических исследований Британии)



Маттесс (1982) ввел следующее определение для вертикального гидро-геохимического зонирования, основанное на превращениях катионов:



Биологические процессы увеличивают интенсивность и скорость геохимических процессов. Они особенно интенсивны в самом верхнем слое грунта, на уровне расположения корней растений в ненасыщенной зоне, где обычно имеется растворенный кислород, поглощаемый организмами, расщепляющими органические вещества. Биохимические процессы в грунте производят большое количество неорганических и органических кислот, которые превращают воду в агрессивную среду и инициируют гидрохимические процессы.

Изыскание и исследование подземных вод с низким уровнем уязвимости с целью их использования в чрезвычайных ситуациях должно быть в основном сфокусировано на глубоких и средних по уровню залегания подземных водах. Подземные воды в мелких водоносных пластах обычно высоко уязвимы к внешним воздействиям, как природного характера (наводнения, засухи, проникновения соли), так и к антропогенным воздействиям (загрязнение), и их нельзя называть безопасным источником питьевой вод в регионе, подверженном стихийным бедствиям. Уязвимость более глубоких подземных вод является в большинстве случаев незначительной, эти подземные воды мало уязвимы к внешним воздействиям, как природным, так и к антропогенным. Обычно подземные пласты содержат воду хорошего качества, которая может использоваться без предварительной обработки или после незначительной обработки, требующей минимального использования технологий, например, аэрацию, фильтрацию, регулирование щелочности, чтобы служить в качестве источника питьевой воды. Однако в некоторых случаях глубоко залегающие подземные воды могут содержать высокие концентрации хлоридов, сульфатов или других компонент и не соответствовать стандартам питьевой воды.

Гидрохимические исследования с применением многоканального радиоизотопного анализа (например,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ), позволяют определить процессы, происходящие в подземных водах различного возраста. Нерадиоактивные изотопы используются для определения происхождения подземных вод. Последовательность эволюции подземных вод и зонирование подземных вод могут нарушаться в геологических структурах, изменившихся под действием смещений в земной коре, и вызвавших перемешивание водоносных пластов, содержащих воду различного происхождения и возраста. В этом и других аналогичных случаях Филиппс (1989) и Верхаген (1991) предложили более широко использовать изотопные методы для более детального изучения систем водоносных пластов, состоящих из более чем одного типа подземных вод, а также для калибровки

временной шкалы для подземных вод. Изотопные методы и технологии, применяемые в гидрологии подземных вод, описаны в разделе 5.4.

## 5.4 Изотопная гидрология

Для того чтобы понять поведение подземных вод, классическая гидрогеология изучает гидравлическую реакцию или движение потока в водоносном пласте под влиянием естественного или индуцированного гидравлического градиента. Такое течение можно проследить с помощью индикаторов.

При использовании метода растворения в отдельной скважине, индикатор (например, бромидная или хлоридная соль) равномерно размешивается в колонне скважины со стоячей водой, а затем концентрация индикатора измеряется при опускании соответствующего датчика. Скорость, с которой жидкость будет растворяться или вымываться из колонны с водой, позволяет оценить проницаемость водоносного пласта и определить изменение профилей течения с глубиной недалеко от скважины.

С целью исследования движения воды в водоносных пластах, в точке А вводится радиоактивная соль или другой радиоактивный индикатор, концентрация которого определяется в точке взятия пробы В, расположенной вниз по течению. Такие исследования имеют ряд недостатков: исследования можно проводить только для небольших расстояний, для прохождения индикатора может потребоваться слишком большой промежуток времени, индикатор может быть поглощен водоносным пластом; может быть слишком разбавлен или пройти мимо точки снятия проб.

Недавно разработанный метод использования природных изотопов в гидрологии позволяет преодолеть большинство, если не все, перечисленные выше недостатки.

### Почему природные изотопы?

Природные изотопы попадают в подземные воды под воздействием природных или антропогенных процессов. Часто возникает необходимость провести анализ только одного набора проб, взятых в ряде точек в системе – «Изотопный снимок» – для получения представления об основных гидрологических процессах. Этот метод можно использовать как для небольших водоемов, так и для всего водосборного бассейна. Транспортный подход, который отличается от классического гидравлического подхода, позволяет получить независимую оценку существующей концептуальной гидрогеологической модели (Бокс 5.4.1), и предлагает модель, в которой не используются такие данные, как величина питания и непрерывность потока, играющие важную роль в численной модели. Природные изотопы, в частности, широко применяются для оценки систем, которые планируется использовать для аварийного водоснабжения, в особенности, глубоко расположенных систем; они позволяют получить уникальную информацию по динамике (движению), происхождению и природным условиям питания водоносных пластов, включая палео-условия, и перемешиванию подземных вод. Использование природных изотопов в гидрологии все больше рассматривается как необходимый инструмент для определения характеристик систем подземных вод, их уязвимости и устойчивости.

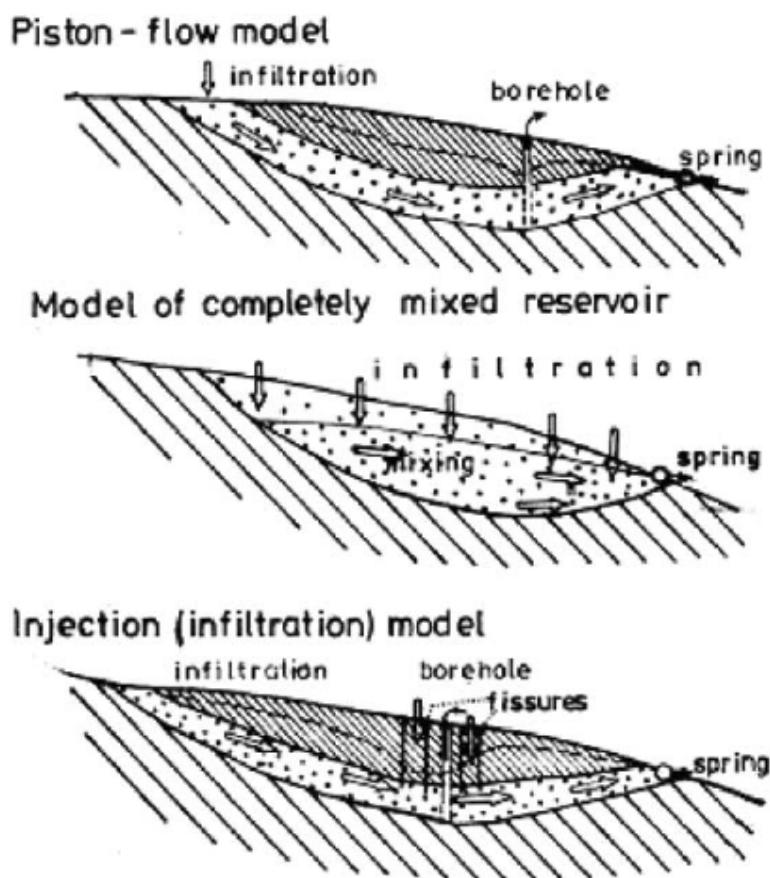
### 5.4.1 Гидродинамические модели

Для интерпретации изотопных данных необходимо рассматривать гидродинамические модели движения подземных вод. Три такие (идеализированные) модели представлены на Рис. 5.4.1. Для ограниченного водоносного пласта с ограниченной площадью питания предполагается, что частицы или элементы объема двигаются с одинаковым временем перемещения вдоль параллельных линий потока до точки отбора проб – модель с поршневым режимом двухфазного потока.

Концентрация радионуклидов на выходе определяется только скоростью радиоактивного распада. Время пребывания подземных вод в горизонте равно времени переноса воды через систему и радиометрическому возрасту проб подземной воды. Если известно расстояние от зоны питания, то можно определить скорость течения воды. Для фреатического водоносного пласта можно применить модель полностью смешанного водоема. Концентрация радионуклидов на выходе из системы определяется смесью различных линий потока с различными задержками, которые можно представить как среднее время нахождения в горизонте (MRT).

Это, в свою очередь, зависит от экспоненциальной, диффузионной и других функций времени переноса. Когда ограниченный водоносный пласт интенсивно эксплуатируется, его пьезометрическое давление локально снижается, что позволяет воде из мелкого водоносного пласта или поверхности, содержащей тритий, проникнуть в горизонт – модель инфильтрации (инъекции). Процентное содержание введенного элемента можно определить по балансу массы двух радионуклидов (например, долгоживущий радиоактивный углерод и короткоживущий тритий).

**Рисунок 5.4.1** Схематические сечения, показывающие три разных гидродинамических модели движения подземных вод: модель с поршневым режимом потока (напорный водоносный пласт); модель резервуара с полным перемешиванием и модель инфильтрации (утечки)



В данном кратком обзоре, рассматриваются только изотопы легких элементов: Н, С и О – наиболее широко используемые на практике или «рабочие» изотопы. Кроме вышеперечисленных изотопов, в гидрологии также используются другие как нерадиоактивные или стабильные изотопы  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , так и радиоактивные изотопы  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  они имеют различное время жизни: от нескольких дней до сотен тысячелетий.

### Радиоактивные изотопы

Для перехода в устойчивое состояние нестабильные или радиоактивные нуклиды спонтанно излучают одну или более частиц или квантов.

Этот процесс является случайным процессом, в котором интенсивность излучения пропорциональна количеству радиоактивных атомов. Данный распад можно описать следующим уравнением:

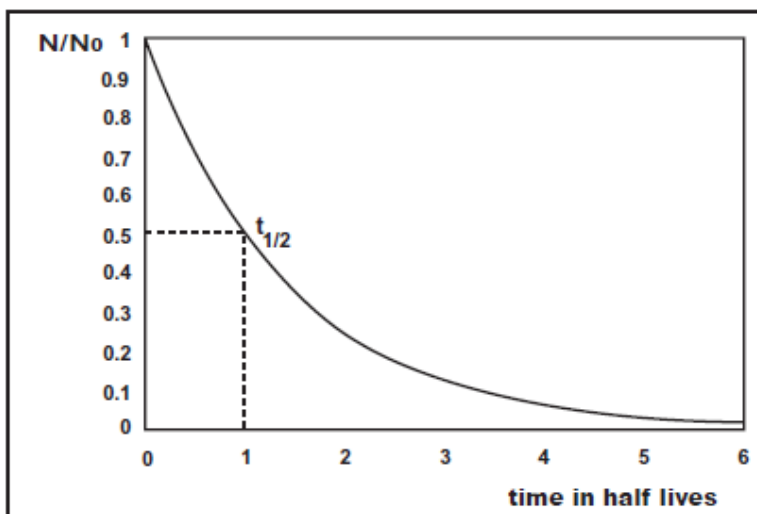
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad [\text{уравнение 5.4.1}]$$

Где  $N$  – количество радиоактивных атомов в момент времени  $t$ ;  $N_0$  – количество радиоактивных атомов в момент времени  $t = 0$ ;  $e^{-\lambda t}$  – постоянная распада. Данная функция представлена на рисунке 5.4.2. Когда остается только половина радиоактивных атомов, то есть  $N/N_0 = 1/2$ , прошедшее время будет называться периодом полураспада,  $t_{1/2}$ .

**Тритий  $^3\text{H}$ .** Тритий, или радиоактивный водород, образуется в атмосфере под действием космических лучей, окисляется до  $^3\text{H}^1\text{HO}$  и становится устойчивым индикатором дождевой воды с естественным отношением  $^3\text{H}^1\text{H}$ , равным  $5 \times 10^{-18}$  или 5 TU (единиц трития). Изолированная от атмосферного источника дождевая вода после ее попадания в подземные воды более не получают новой «порции» трития, и его концентрация уменьшается в соответствии с характерным периодом полураспада 12,32 лет, что позволяет получить информацию о сравнительно недавнем попадании дождевой воды в горизонт или возрасте «молодой» подземной воды.

**Радиоактивный углерод  $^{14}\text{C}$ .** Радиоактивный углерод также образуется в атмосфере под действием космических лучей. Окисляясь до  $^{14}\text{CO}_2$ , радиоактивный углерод становится частью атмосферного углекислого газа, его концентрация составляет 100 (рМС) процентов от современного углерода. Атмосферный углекислый газ является продуктом фотосинтеза растений, он выделяется перегноем и корнями растений и растворяется вследствие инфильтрации в подземной воде, что приводит к образованию растворенного неорганического углерода (РНУ)  $^{14}\text{C}$ . Уменьшение количества трития вследствие распада  $^{14}\text{C}$  после поступления в подземные воды позволяет определить время нахождения трития в подземном горизонте. Биогенное соотношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  можно изменить химически во время питания подземных вод, но далее его можно принять как постоянную величину (Верхаген и др., 1991). Так как радиоактивный углерод имеет намного больший период полураспада, составляющий 5730 лет, он является основным радиоактивным природным индикатором более древних подземных вод и его, в частности, можно использовать для исследований обычно более глубоко залегающих ресурсов для аварийного водоснабжения.

**Рисунок 5.4.2** Экспоненциальная кривая распада, показывающая отношение количества не распавшихся радиоактивных атомов ( $N$ ) к исходному количеству радиоактивных атомов ( $N_0$ ) как функция времени в единицах времени полураспада  $t_{1/2}$



### Среднее время пребывания и питание водоносного пласта

Среднее время пребывания (MRT) в водоносном пласте представляет собой показатель мобильности подземных вод или отношение объема поступающей воды к объему воды в водоносном пласте. Эту величину можно определить на основе (концептуальной) модели сосредоточенных параметров, описывающей движение воды в водоносном пласте, с использованием данных по тритию и/или радиоактивному углероду (Малошевки и Цубер, 1996) – см. 5.1.1. Знание MRT позволяет определить такие важные параметры, как объем поступающей воды  $R$ :

$$R = \frac{(n \times HR)}{MRT} \quad [\text{уравнение 5.4.2}]$$

где  $H$  = глубина насыщенной зоны, где производится отбор проб,  $n$  = пористость водоносного пласта



## Нерадиоактивные или стабильные изотопы

Различие масс изотопов и молекул, состоящих из разных изотопов, влияет на химические и физические процессы, что вызывает небольшие различия в их концентрации или распространенности.

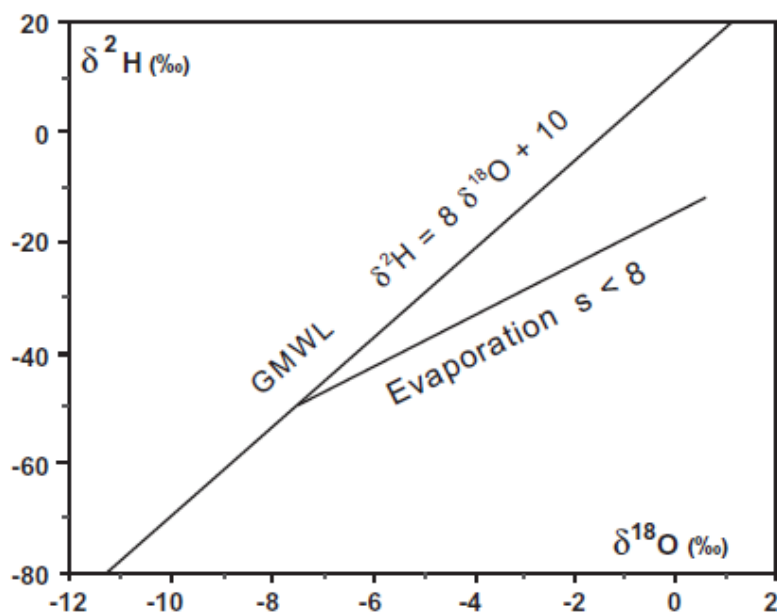
Это различие можно выразить в виде относительных единиц, в промилле (‰) по отношению к стандартному образцу (Кларк и Фритц, 1997), и проследить изменение этого отношения в системе подземных вод:

$$\delta = [(R_S / R_T) - 1] \times 1,000 \text{ (‰)} \quad [\text{уравнение 5.4.3}]$$

где  $R_S$  и  $R_T$  представляют собой отношения количества изотопов в пробе и стандартном образце. Отношение изотопов в молекуле воды,  $R$  составляет  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ;  $^2\text{H}/^1\text{H}$ , в качестве эталонного образца используется SMOW (Standard Mean Ocean Water - Стандартная обычная океанская вода).

Отношения количества тяжелых изотопов водорода  $^2\text{H}$  и кислорода  $^{18}\text{O}$  к эталону SMOW в испарениях, поднимающихся с поверхности океана, имеют отрицательные значения по сравнению с этими отношениями в морской воде. В дождевых осадках, образованных из влаги испарившейся в поверхности океана идвигающихся в направлении материка, отношение количества изотопов к стандарту еще уменьшается, как показано на так называемой «линии глобального цикла атмосферной воды» (GMWL; Рисунок 5.4.3). Испарения с поверхности озера или реки делают воду в реке или озере обогащенной тяжелыми изотопами, эти значения соответствуют линии с углом наклона  $< 8$  – линия испарения. Эта зависимость сохраняется и для просачивания под поверхность. Таким образом, концентрация стабильного изотопа в подземных водах дает информацию о его происхождении и позволяет отличать воду из одних источников от воды из других источников в водоносном пласте, а также идентифицировать палеонтологические воды, изучить перемешивание вод, непрерывность потока, и другие характеристики.

**Рисунок 5.4.3** Диаграмма  $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$  (‰ SMOW) показывает зависимость глобального цикла атмосферной воды (GMWL), угол наклона 8, и кривую испарения, угол наклона  $< 8$



Отношение количества стабильных изотопов углерода  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  изменяется в биологических и гидрохимических процессах, и выражается как отклонение  $\delta$  (Уравнение 5.4.3) от значений для стандартных образцов базы данных процессов. Это дает дополнительную информацию относительно происхождения источников питания, интерпретации данных по радиоактивному углероду и идентификации источников органических загрязняющих веществ.

См. пример применения природных изотопов: исследование конкретного случая, раздел 10.

## 5.5 Геофизика

Геофизические методы позволяют изучить находящиеся под поверхностью земли геологические образования, знание которых необходимо для исследования структуры подземных вод. Однако для получения более наглядной картины гидрологического режима подземных вод, необходимо также использовать дополнительные данные, а не ограничиваться только данными геологических исследований. Геофизическая разведка хранилищ подземных вод основывается на измерении различий или аномалий в физических характеристиках (например, плотность, электрическое удельное сопротивление, магнетизм и другие характеристики) земной коры.

Использование геофизических методов в разведке подземных вод становится все более важным инструментом при таких чрезвычайных ситуациях, как засуха, когда мелкие подземные воды полностью использованы, и во время наводнений, когда происходит сильное загрязнение поверхностных вод. Наземные геофизические методы позволяют не только быстро получить информацию о наличии подземных вод, но также определить глубину их залегания. Геофизические методы, широко использованные в разведке подземных вод, включают определение электрического удельного сопротивления, преломления сейсмических волн, гравитационного притяжения, величины магнитного поля, и каротаж. Многоканальный анализатор поверхностных волн (MASW) и метод протонно—магнитного резонанса (PMR) являются новыми методами, эффективность которых еще находится на стадии оценки для их применения для исследований подземных вод. Во время чрезвычайных ситуаций, в основном, проводится поиск глубоких подземных водах с помощью самых простых методов, таких как измерение удельного электрического сопротивления.

Необходимо помнить, что геофизические методы дают информацию о геологических структурах/пластах, в которых могут находиться подземные воды. При поиске места залегания подземных вод успех исследований значительно увеличивается при использовании геофизические методы. Однако все вышерассмотренные методы, кроме ПМР, который все еще находится на стадии разработки, не дают непосредственную информацию о месте залегания подземных вод.

### Метод измерения удельного электрического сопротивления

Данный метод более часто применяется для разведки подземных вод, чем другие геофизические методы, что обусловлено большой чувствительностью удельного сопротивления к разным структурам и разным степеням насыщения водой. Удельное сопротивление определяется как сопротивление, оказываемое единичным кубом вещества потоку тока, перпендикулярному к его поверхности. Если  $L$  – длина проводника,  $A$  – площадь поперечного сечения, то сопротивление равно:

$$R = \rho L/A$$

Где  $\rho$  - постоянная пропорциональности, которая называется удельное сопротивление. В системе MKS, единицей измерения сопротивления является ом-метр (Ом-м). Обратная величина сопротивления называется проводимостью, она обозначается  $\sigma$  и измеряется в  $\sigma/\text{м}$ .

Наиболее часто измерения сопротивления производятся по методу Венера или Шлумбергера когда электроды погружаются в грунт. В случае неоднородной среды измеряемое сопротивление называется кажущееся удельное сопротивление. Кажущееся удельное сопротивление геологической структуры равно истинному удельному сопротивлению фиктивной однородной и изотропной среды. Удельное сопротивление горных пород имеет большой интервал значений; оно зависит от вещества, плотности, пористости, размера и формы пор, содержания и качества воды и температуры. Для удельного сопротивления разных пород нет установленных пределов; значения для пород вулканического происхождения и метаморфных пород изменяются в пределах  $10^2$ - $10^8$  Ом-м; для осадочных и рыхлых пород в пределах  $1$ - $10^4$  Ом-м. При нанесении на график зависимости величины кажущегося удельного сопротивления от расстояния между электродами, мы получаем информацию о слое низкого сопротивления, эта величины позволяет определить глубину залегания подземных вод в водоносном пласте.

Измерение сопротивления на больших глубинах является хорошо зарекомендовавшим себя способом установления границ более глубоких водоносных пластов в осадочных отложениях, определяемых зонами низкого сопротивления. Основываясь на данных исследования сопротивления геологических структур в подверженном засухам округе Бармер, Раджастан(Индия), было успешно проведено бурение скважин на шести участках, скважины дают от 2000 до 10000 галлонов питьевой воды в час(Сингх и др., 1990).

Построение изображения среды с помощью электрических или электромагнитных методов. Усовершенствование методов определения сопротивления среды с использованием многоэлектродных установок позволило усовершенствовать использование электрических методов для исследований под поверхностью земли (Гриффитс и Тёрнбулл, 1985; Гриффитс и др., 1990; Баркер, 1992; Гриффитс и Баркер, 1993). Такие исследования обычно проводятся с использованием большого количества электродов, 24 или

более, соединенных с одним большим многожильным кабелем. Измерения кажущегося удельного сопротивления записываются последовательно, отдельно для каждого четырех-полюсного электрода (электроды тока и напряжения) на многоэлектродной установке. Анализ данных двухмерного сопротивления, полученных с помощью многоэлектродной установки (MER2D), проводится с помощью программного обеспечения RES2D, что дает значение поперечного сечения удельного сопротивления. Этот метод позволяет за короткий промежуток времени с высоким разрешением и большой плотностью отбора проб получить значения псевдо-сечений кажущегося удельного сопротивления до глубины 100 м. Это позволяет детально изучить 2D распределение двухмерного сопротивления в грунте (Лоук и Баркер, 1996). На рис. 5.5.1 показана многоэлектродная установка для определения кажущегося удельного сопротивления на месте проведения измерений в поле.

Хотя методы определения удельного сопротивления являются самыми распространенными методами для разведки подземных вод, они имеют определенные ограничения. В методе зондирования удельного сопротивления вертикальное разрешение ограничено, оно уменьшается с глубиной и для измерения сопротивления на больших глубин требуется очень сильный ток.

**Рисунок 5.5.1 Многоэлектродная установка для измерения двухмерного (2D) удельного сопротивления на месте проведения измерений в поле.**



Также увеличение солености подземных вод приводит к уменьшению удельного сопротивления пород, в то время как степень насыщения сильно влияет на сопротивление.

### **Сейсмический метод**

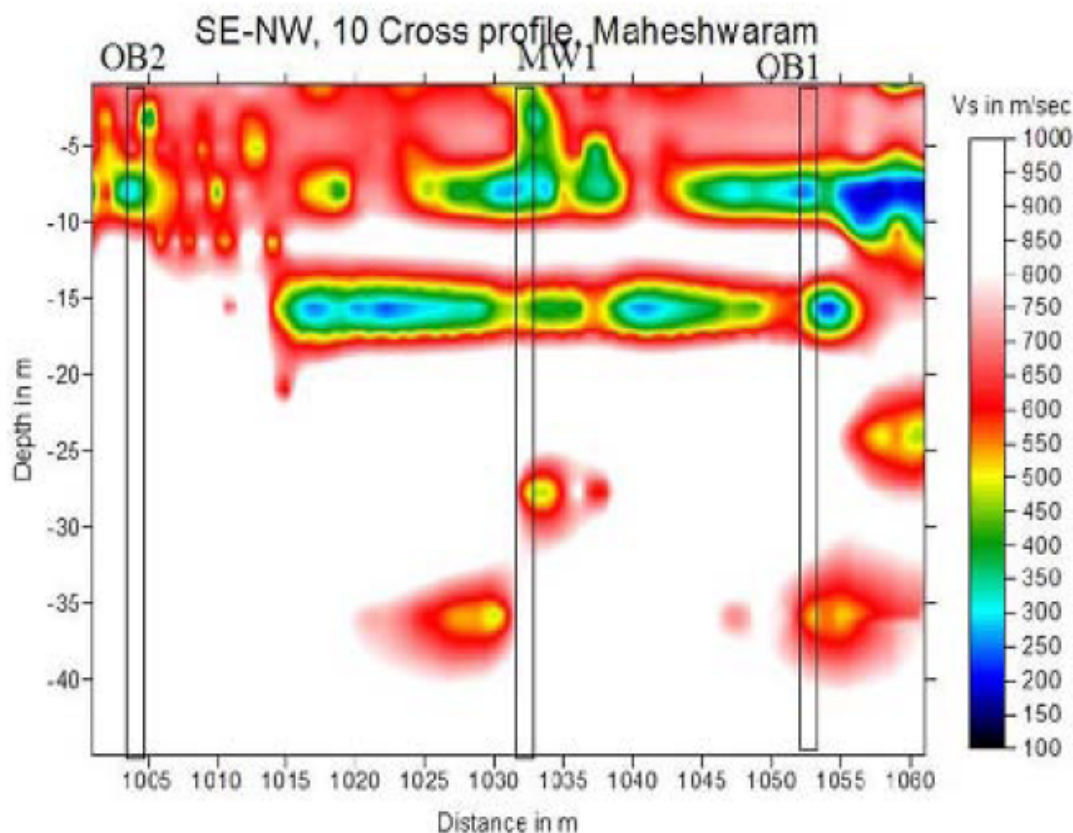
Методы сейсмических преломленных волн являются очень полезными и точными методами для проведения исследований на небольшой глубине на участках твердых пород. Данный метод основан на разности скорости акустических волн в водоносной зоне и примыкающих пластах. В этом методе звуковые

волны производятся либо механически, либо посредством взрыва. Датчики, называемые геофонами, размещаются на равных расстояниях друг от друга на одной линии с местом взрыва; они регистрируют первичные волны после их преломления на границах пластов. По времени прибытия этих волн к датчикам, расположенным на разном расстоянии от источника, можно построить кривую зависимости расстояния от времени прохождения этого расстояния. Эта кривая показывает наличие слоев различных скоростей, и, соответственно, позволяет определить расположение водоносных пластов. Сейсмические методы находят широкое применение при определении местоположения подземных вод, глубины коренной породы, водонепроницаемого слоя и его конфигурации, обнаружения скрытого русла и разломов, которые могут действовать в качестве барьеров для подземных вод.

### Многоканальный анализатор поверхностных волн (MASW)

Многоканальный анализатор поверхностных волн (MASW) широко использовался в геотехнических исследованиях, но до сих пор не было попыток использовать его для составления карты подповерхностных структур, которая бы указывала зоны высокой проницаемости (низкой скорости) и могла использоваться для определения горизонтов подземных вод. Эксперименты с использованием метода MASW в водоразделе с твердой породой в Андхра Прадеш (Индия) показали потенциал использования скорости сейсмической волны при определении границ глубоких трещинных зон. Скорость сейсмических волн в глубоких трещинных зонах – это потенциальный источник подземных вод – намного ниже скорости в зонах с плотной твердой породой. На рис. 5.5.2 показаны границы трещинных зон, полученные при использовании метода MASW.

**Рисунок 5.5.2** Метод MASW, применяемый для установления границ трещинных зон. Зеленый и желтый цвета соответствуют слоям с низкой скоростью сейсмических волн (зона выветривания и зона трещиноватости), белый цвет указывает на слой с высоким уровнем сейсмической скорости (массив гранита). Бурение подтвердило наличие трещинных зон в скважинах MW-1 и OB-1 и неглубокой выветренной и плотной зоне с твердой породой в скважине OB-2



Многоканальный анализатор поверхностных волн (MASW) широко использовался в геотехнических исследованиях, но до сих пор не было попыток использовать его для составления карты подповерхностных структур, которая бы указывала зоны высокой проницаемости (низкой скорости) и могла использоваться для определения хранилищ подземных вод. Проведение георазведки с использованием нового геофизического инструмента в водоразделе Мхешварам, в одном из регионов Андхра Прадеш (Индия), состоящих из твердых пород, показало возможность его применения для определения глубоких трещинных зон. Глубокие трещинные зоны имеют более низкую скорость распространения сейсмических волн, чем зоны с плотной твердой породой, что позволяет обнаружить потенциальные хранилища подземных вод. Исследовательские эксперименты, проведенные в водоразделе в Андхра Прадеш с твердой породой, показали, что данный метод дает хорошие результаты.

## **Метод гравиметрической разведки**

Метод гравиметрической разведки, который, в основном, применяется для изучения геологических структур, также находит свое применение и в гидрогеологических исследованиях: (а) определение глубины до геологического фундамента и его рельефа, (б) определение состава крупных осадочных пород бассейна с мощными проницаемыми зонами, (в) локализация и обозначение границ древних, скрытых пойм рек и проницаемых каналов в аллювиальных формациях.

Применение метода гравиметрической разведки ограничено неоднозначностями в интерпретации результатов. Один и тот же гравитационный эффект может быть обусловлен бесконечным количеством комбинаций плотности и объемов исследуемого объекта. Ошибки можно уменьшить только на основе предположений о форме или физических свойствах объекта.

Метод гравиметрической разведки был использован для определения границы скрытой поймы реки в Саскачеван, Канада (Холл и Хаджнал, 1962). Гравитационные аномалии на составленной карте предстали в виде удлинённых возвышенностей и низин, очерчивая внешний вид поймы реки.

## **Магнитный метод**

Магнитные методы основаны на наблюдении аномалий в магнитном поле земли, вызванных различной магнитной восприимчивостью различных пород. Так как долеритовые (диабазовые) дайки широко распространены на территории с твердой породой и являются важной структурой для потоков подземных вод, данные методы можно широко использовать в гранитных породах, в которых часто присутствуют вертикальные или почти вертикальные дайки, для определения границ даже скрытых дайков. Для проведения магнитных исследований используются различные измерительные устройства, например, установка Шмидта или компенсационные устройства, такие как используются во вращательном магнетометре; а также индукционные инструменты: индукционный магнитометр, протонный прецессионный магнитометр, магнитометр с оптическим поглощением или высокочувствительный атомно-резонансный магнитометр.

Основным преимуществом метода поверхностного протонного магнитного резонанса (PMR) по сравнению с другими геофизическими методами является то, что измерение сигнала PMR от молекул воды на поверхности гарантирует что этот сигнал образован только подземными водами. Идея трансформирования известного протонного магнитометра в прибор для изыскания воды с поверхности земли принадлежит Р.Н.Вариану (Вариан, 1962). Данная идея была далее разработана и применена на практике намного позже группой русских ученых под руководством А.Г.Семена. Основной принцип действия магнитно-резонансного зондирования или вышеупомянутого метода поверхностного протонного магнитного резонанса для исследований подземных вод аналогичен принципу действия протонного магнитометра. Принцип действия обоих устройств основан на регистрации магнитно-резонансного сигнала от жидкости, содержащей протоны, например, воды или углеводородов. В протонном магнитометре проба жидкости помещается в принимающий соленоид, и измеряется только частота сигнала. В методе PMR петля из проволоки 100м в диаметре используется в качестве передающей/приемной антенны, а вода под землей выступает в роли пробы. Этот метод был опробован в зонах осадочных отложений, но все еще находится на стадии доработки для применения к водоносным пластам в твердой породе.

## **Метод самопроизвольной поляризации**

Метод самопроизвольной поляризации основан на использовании локальных электрических полей, которые возникают в геологических породах вследствие окислительно-восстановительных, диффузионно-адсорбционных и фильтрационных явлений. Значения СП увеличиваются в направлении потока подземных вод (Патангай и др., 1981). В районах с изрезанным рельефом, где потенциалы фильтрации довольно велики, наблюдаются отрицательные аномалии. В зонах питания и в таких местах, как долины (места стоков), наблюдаются положительные потенциалы (Отливи, 1967).



Применение метода СП ограничено из-за высокого уровня шума, вызванного теллурическими токами, топографией, поляризацией электродов, смещениями вследствие изменений температуры, химическим составом почвы и содержанием влаги, который не позволяет выявить аномалии. Применение неполяризованных электродов позволяет существенно снизить уровень шума при проведении кратковременных измерений вследствие поляризации электродов. Другим важным недостатком метода является отсутствие контроля глубины в интерпретации измерений СП.

### **Метод вызванной поляризации**

Данный метод основан на измерении потенциалов, наблюдаемых в геологических формациях, при пропускании через них постоянного тока. При неожиданном отключении тока, разность потенциалов между измерительными электродами не исчезает мгновенно, а постепенно уменьшается в течение нескольких секунд или минут. Полевые измерения аналогичны измерениям, которые используются при определении удельного сопротивления. В основном метод ВП используется для разведки сульфидных руд, графита и угля. Использование метода ВП имеет некоторые преимущества при проведении изыскательских работ для водонасыщенных пород, содержащих пресную и минерализованную воду, определении уровня подземных вод, оценке гидравлической проводимости водоносных пластов и других разведочных работах.

### **Геофизические исследования в скважинах**

Для точного выбора конструкции скважин и понимания подземных условий для дальнейшего бурения скважин в борьбе с засухой может использоваться метод геофизического каротажа. В данном методе датчики опускаются непосредственно в скважины для изучения изменений физических, химических и механических параметров при увеличении глубины. Это дает возможность получать более точную информацию, чем при использовании поверхностных методов, так как измерительные датчики находятся в непосредственном контакте с изучаемыми породами. Наиболее важную информацию дают диаграммы электрического каротажа (потенциал самопроизвольной поляризации, точечное сопротивление, удельное сопротивление), гамма-каротаж и кавернограммы.

Диаграммы электрического каротажа, в целом, используются с целью контроля качества водных скважин для взаимодействия между скважинами, разделения типов пластов, определения мощности пласта и разделения пластов пресной и соленой воды.

Гамма-каротаж основывается на обнаружении радиоактивных минералов и установлении маркирующих пластов, этот метод используется для определения границ песчаных (водоносных пластов) и глинистых пород (водоупоров). Диаграммы нейтронного каротажа дают информацию о содержании влаги над уровнем грунтовых вод и общей пористости ниже уровня грунтовых вод.

Диаграммы столбов флюида в скважине, в основном, используются для исследования источников воды и определения движения воды в столбе флюида. Кавернограммы используются для изучения изменений диаметра скважины, вызванных изменением твердости пробуренного пласта, и определения мест разломов и трещин. Они также используются для корректировки других диаграмм каротажа.

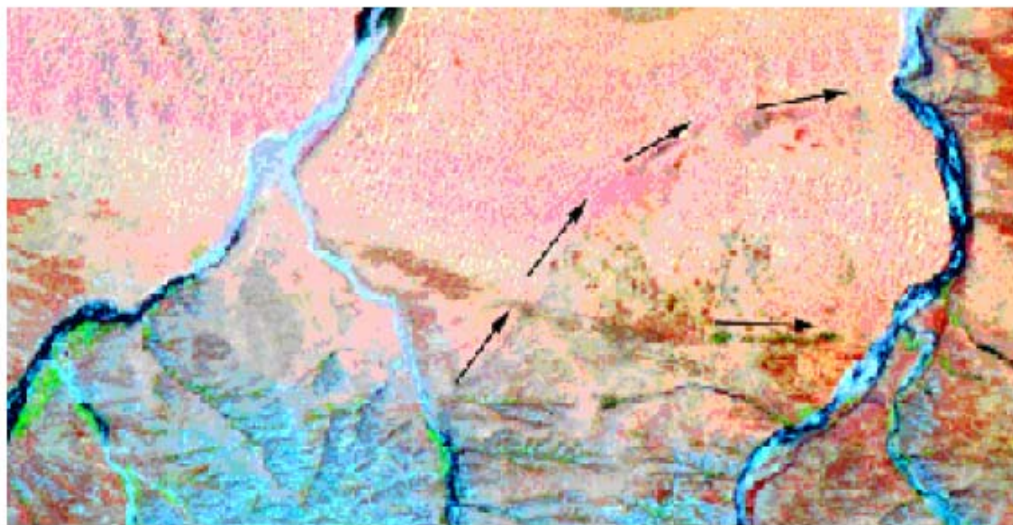
## **5.6 Методы дистанционного зондирования**

Дистанционное зондирование, которое позволяет получить данные с пространственным, спектральным и временным разрешением, а также данные по большим площадям и недоступным районам, является очень эффективным инструментом для обнаружения, оценки и мониторинга подземных вод. Спутниковые данные быстро предоставляют основную необходимую информацию по гидрологическим параметрам, контролирующим залегание и движение подземных вод (Кумар, Томар, 2002). Изображения в видимом и инфракрасном спектре используются для картирования литологических характеристик, почвы, растительности и геологических структур. Для картирования структур и влажности почвы используются радарные данные. Методы дистанционного зондирования успешно применяются для исследования ресурсов подземных вод в различных геологических средах.

В рыхлых отложениях методы дистанционного зондирования позволяют обнаружить структуры фильтрации, подземные реки и каналы. Дистанционное зондирование также позволяет обнаружить существовавшие в древности каналы по содержанию влаги в почве и идентифицировать подземные каналы по находящейся на поверхности структуре растительности (рис. 5.6.1). Дистанционное зондирование позволяет определить гидрогеологические параметры, которые влияют на режим подземных вод: структура дренажа, типы почв, влажность почвы, системы разломов, геологические структуры, рельеф и аномальные растительные зоны. Дистанционное зондирование также позволяет отличить фации аллювиального наполнения, например, каналы, и затопливаемые равнины. Бортовая электромагнитная установка (ЭМУ) используется для обнаружения разломов; она дает полезную информацию для обнаружения и точного установления размеров,

солености и других характеристик древних каналов (Акланд, Хантер, 2002). Зоны движения подземных вод, покрытые наносными породами на полусушливых участках, можно обнаружить по изображениям влажности почвы в инфракрасном свете, так как такие места имеют более низкую температуру. Зоны питания и разгрузки подземных вод можно установить по снимкам в видимом и инфракрасном спектре

**Рисунок 5.6.1** Композитный снимок Landsat TM Band 641 RGB показывает поверхностные и древние каналы на севере плато Эрдос в Китае. Темно-синим цветом показаны поверхностные воды, голубой цвет соответствует подземным водам. Стрелками показано расположение идентифицированных засыпанных древних каналов.



Пустыни, в своей предыстории, имели много влажных фаз. Поверхностные воды просочились в почву в результате дренажа; структура некоторых каналов видна и в настоящее время, а другие каналы покрыты слоем золотого песка. Проникающая способность радара позволяет обнаружить неглубокие горизонты подземных вод в покрытых слоем почвы каналах и поймах у подножья гор. Использование методов дистанционного зондирования для составления карт конфигурации речной сети играет важную роль в оценке потенциала подземных вод в этих регионах. ERS (Искусственный спутник, предназначенный для изучения природных ресурсов) и Radarsat позволяют получать радарные изображения достаточно хорошего разрешения (Друри, Деллер, 2002).

В местах залегания твердых пород цифровые аэроснимки и космические снимки использовались для составления карт трещинных зон (рис. 5.6.2). Они также использовались для определения мест в трещинах, где могут находиться или двигаться подземные воды в хранилища в трещинах. Для оценки потенциального объема воды в трещинах необходимо знать взаимосвязь между дренажной сетью и структурой трещин. (Сейнт-Джин и Сингхрой, 2000). Геостатистические карты (карты трещин и их пересечений) можно получить при обработке изображений дистанционного зондирования (Элфоули, 2000).

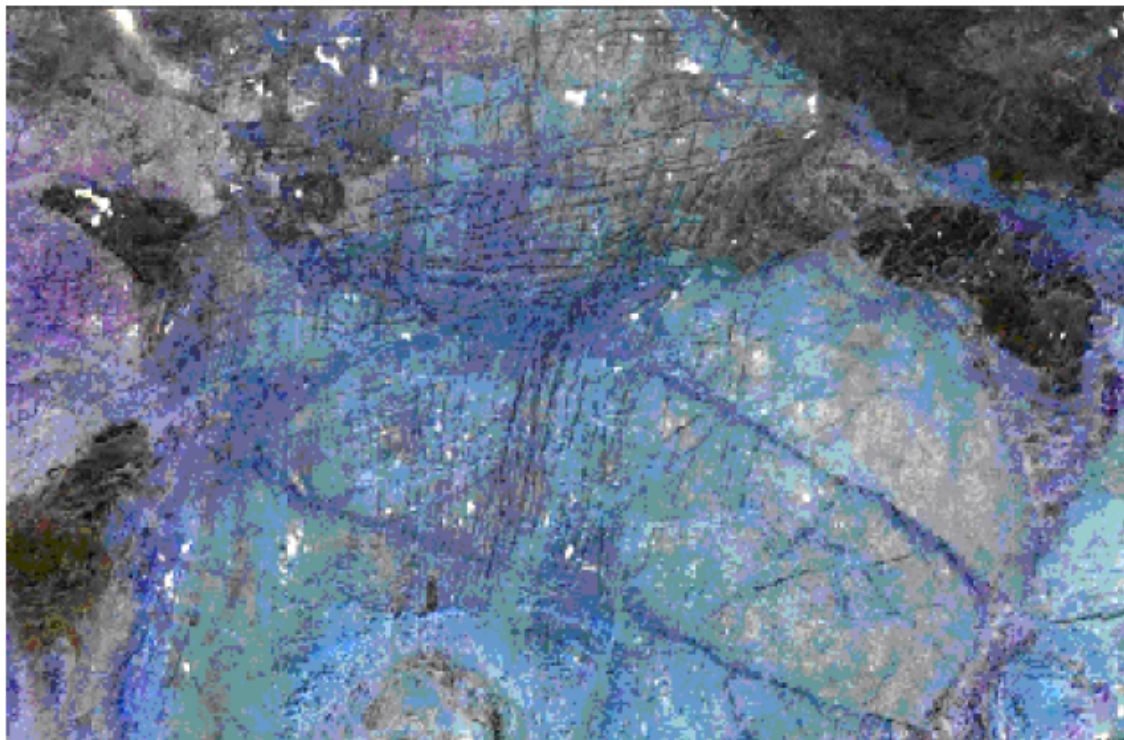
Литологические характеристики и стратиграфическое положение больших потенциальных горизонтов подземных вод можно установить на основе анализа мультиспектральных данных дистанционного зондирования. Растительность отражает литологические характеристики почвы. Дистанционное зондирование оказалось очень полезным инструментом для районов густо покрытых растительностью, так как растительность позволяет определить типы пород, на которых она произрастает, потенциальные трещины, разломы и складки в структурах под поверхностью земли (Друли, Деллер, 2002). Дальнейшее исследование трещин и карстовых пород с целью определения потенциальных запасов подземных вод проводится на земле с использованием геофизических методов и разведочного бурения.

Метод установления контуров пересечения разломов и трещин с помощью дистанционного зондирования и радарной техники позволяет определить места залегания более глубоких подземных вод (Элфоули, 2000, Махму, 1996).

Контурные показывают расположение основных слабых зон в литосфере, и отражают местоположение основных траекторий высокой проницаемости, которые могут существовать в течение длительных периодов геологического времени, в особенности, в напряженных трещиноватых породах. Картирование контуров трещин (разломов и мест стыка) можно выполнить на основе мультиспектральных изображений практически для любой длины волны. Этот вид картирования играет важную роль в исследовании подземных вод в метаморфических и изверженных породах, так как большое количество воды находится вблизи трещин, которые представляют собой единственные пористые места, где вода может проникать вглубь, ниже

поверхности земли. Удовлетворительные результаты по обнаружению подземных водоносных горизонтов были получены с помощью наземного радара, эти результаты могут быть подтверждены данными скважин, расположенных недалеко от места проведения исследований.

**Рисунок 5.6.2** Структура трещин в породах вулканического происхождения по композитным снимкам TM 741 на юге бассейна Туха, Хинджанг, Китай. Темно-синие и серые участки содержат большие объемы подземных вод.



Данные дистанционного зондирования используются как исходный материал для проведения дальнейших наземных исследований. Они помогают снизить стоимость приоритетных исследований для социальных целей (например, исключить из объектов исследований районы, где нет дефицита воды, или районы с очень низкой плотностью населения) и определить индикаторы потенциальных подземных вод. Обработка космоснимков, основанных на данных дистанционного зондирования, гидрологические исследования, геофизическая разведка и экспериментальное бурение скважин позволяет определить приоритетные области. В идеальном случае, дистанционное зондирование должно использоваться как первый шаг в проведении научных исследований. Основываясь на данных дистанционного зондирования, гидрологи могут оценить потенциальный объем подземных вод и определить места для наиболее разумной добычи, хранения и распределения подземных вод.

## 5.7 Разработка концептуальной модели системы подземных вод

Важным этапом разработки и управления системой подземных вод является первоначальное понимание поведения системы: создание концептуальной модели. Концептуальная модель должна определять основные факторы (природные и техногенные), оказывающие влияние на систему, определять является ли наблюдаемое поведение прогнозируемым и можно ли использовать математические приближения для описания поведения системы (Макмахон и др., 2001). Разработка концептуальной модели является важным этапом, как для действующих систем водоснабжения, так и для систем, резервируемых для чрезвычайных ситуаций.

Правильность любой концептуальной модели должна быть проверена экспериментально. Следовательно, любая концептуальная модель должна быть не просто количественным описанием исследуемой системы, она должна описывать неопределенности в поведении системы и создавать основу для определения

требований к данным и типу используемой математической модели. Предварительное тестирование модели следует проводить с помощью вычислений общего баланса воды, баланса массы и простых аналитических соотношений. В данном случае необходимо учитывать, что вода для целей водоснабжения в чрезвычайных ситуациях извлекается из расположенных далеко под землей резервуаров подземных вод, поэтому попытки проведения вычислений в рамках данной модели могут столкнуться с проблемой отсутствия необходимых данных.

## Разработка концептуальной модели

В идеальном случае разработка концептуальной модели должна представлять собой итерационный процесс, включающий постоянное обновление при поступлении новых данных. Это невозможно сделать для случая водоснабжения в чрезвычайных ситуациях, так как эксплуатация и мониторинг таких подземных вод не проводится постоянно. В этом случае необходимо внедрять усиленный контроль и тщательное планирование.

## 5.8 Математическое моделирование

Использование ресурсов подземных вод в чрезвычайных ситуациях требует детального знания этих ресурсов, как в ближайшем, так и отдаленном будущем, и проведения контроля массообмена с примыкающими (в большинстве случаев вышележащими) водоносными пластами. Для получения такой оценки необходимо:

- Изучить различные сценарии развития ситуации с помощью методов математического моделирования;
- Разработать стратегии управления и охраны ресурсов подземных вод;
- Разработать систему раннего оповещения для улучшения контроля гидравлических изменений, вызванных добычей подземных вод в чрезвычайных ситуациях.

Разработка любой математической модели основана на концептуальной гидродинамической модели (см. раздел 5.7), которая определяет геометрические характеристики, взаимодействие между водохранилищами, механизмы пополнения и разгрузки подземных вод и гидравлические параметры.

Так как результат расчетов по математической модели зависит от многих факторов – концептуальной модели, входных данных, степени абстрагирования при переходе от концептуальной к математической модели и выбранного алгоритма – для более точной оценки точности результатов моделирования необходимо учитывать неопределенности. Для определения вероятностного разброса результатов применяется метод Монте-Карло.

Все математические модели, определяющие количество воды, основаны на вычислении массового расхода воды или расхода воды с несколькими узлами и баланса энергии в соответствии с функциями потока Лапласа и потенциалом.

|                       |                                                                                                                                                                                     |                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| функция потока        | $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \cdot \text{or} \cdot S_0 \frac{\partial H}{\partial t}$                   | (установившееся или переходное состояние) |
| потенциальная функция | $k_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \cdot \text{or} \cdot S_0 \frac{\partial H}{\partial t}$ | (установившееся или переходное состояние) |

где  $H$  – гидравлический напор,  $K$  – гидравлическая проводимость,  $S_0$  - удельный коэффициент накопления.

Для определения количества воды к математической модели необходимо добавить данные по гидродинамической дисперсии, физическим, химическим и микробиологическим реакциям специальных растворов и соответствующие кинетические уравнения.

$$D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{Ty} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_{Tz} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \pm R \pm a \frac{\partial S}{\partial t} \pm b \frac{\partial Re}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

где  $D$  – коэффициент дисперсии,  $C$  – концентрация,  $R$  – задержка,  $S$  – член, соответствующий стоку или источнику,  $Re$  – реактивность.

#### **Математические модели используются**

- Для анализа чувствительности, который позволяет определить частоту и точность проведения сбора данных в полевых условиях;
- Для определения области полевых исследований при разработке надежной концептуальной гидрологической модели;
- Для проверки однородности и согласованности блока данных
- Для разработки стратегии управления и охраны водных ресурсов после этапа проверки и калибровки модели;
- Для оценки поведения исследуемой системы в будущем при изменившихся условиях;
- В качестве инструмента раннего оповещения после оптимальной калибровки модели.

#### **Модели определения количества воды**

В зависимости от количества собранных данных можно применять один из трех типов математических моделей:

- Модели сосредоточенных параметров (Малосозевски и Зубер, 1996)
- Камерные модели и
- Дискретизирующие модели (Кинзелбах, 1986)

Модель сосредоточенных параметров имеет минимальное количество параметров, дискретизирующая модель имеет максимальное количество параметров. Для каждой модели существует огромное количество вариантов модели, разрабатываемых в соответствии со специальными заданиями и используемым математическим алгоритмом.

Разработка математических моделей определения количества воды находится на достаточно высоком уровне, однако имеющиеся данные не всегда соответствуют требованиям модели, поэтому математическое моделирование часто включает использование метода Монте-Карло для определения наиболее вероятных и случайных событий. Ввиду отмеченной выше проблемы, для получения достоверного набора данных применяется обратная, а не прямая мода математического моделирования.

#### **Модели определения качества воды**

Модели определения количества воды применяются и для определения качества подземных вод, для этой цели при решении уравнения Лапласа необходимо также учитывать

- Гидродинамическую дисперсию (Фрид, 1975)
- Парциальные коэффициенты с учетом и без учета кинетики (Меркель и Планер-Фридрих, 2002)
- Параметры химических реакций с учетом и без учета кинетики (Меркель и Планер-Фридрих, 2002)
- Микробные реакции и
- Изменение среды обитания микроорганизмов (Науманн и др., 2004).

Принимая во внимание неточности измерений в полевых и лабораторных исследованиях можно сделать вывод, что для практических целей наиболее приемлемой является модель с минимальным количеством параметров. Для решения фундаментальных задач исключительную роль могут сыграть модели с большим количеством параметров, так как они позволяют более точно выбрать направление и ускорить выполнение научных исследований.

## **5. 9 Географические информационные системы**

Географические информационные системы (ГИС) стали незаменимым инструментом в обработке и анализе гидрогеологических данных. В настоящее время уже невозможно представить гидрогеологические исследования без использования ГИС. Это также относится к исследованию ресурсов подземных вод, резервируемых для чрезвычайных ситуаций, где ГИС также может сыграть важную роль.

ГИС обычно включает или связан с базой данных, содержащей основные данные по характеристикам, которые могут быть представлены на карте или обработка которых дает необходимую гидрогеологическую информацию. В качестве примера можно рассмотреть объединение данных по скважинам с геофизическими данными для построения карты, показывающей глубину или толщину водоносного пласта, намеченного для

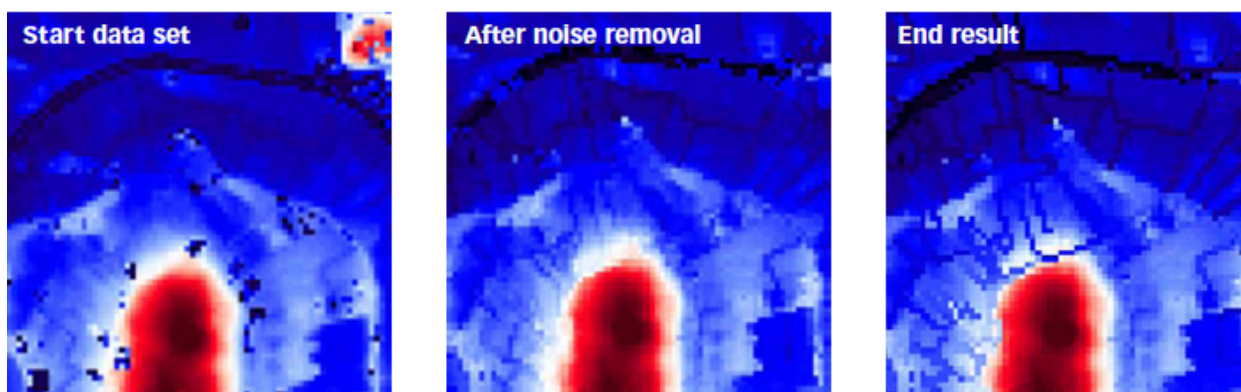


использования в чрезвычайных ситуациях. Данные обрабатываются с помощью специальных функций управления базами данных или с помощью функций управления ГИС. Изменения в базе данных, например, появление новых скважин можно непосредственно вносить в ГИС.

Другим преимуществом ГИС является возможность соединять карты различного типа для получения новой тематической карты. В качестве примера можно привести объединение карт по землепользованию, источникам загрязнения почв, геологии и глубине залегания подземных вод с целью получения карты загрязненности подземных вод. Такое наложение карт можно осуществить с помощью полигональных или растровых данных.

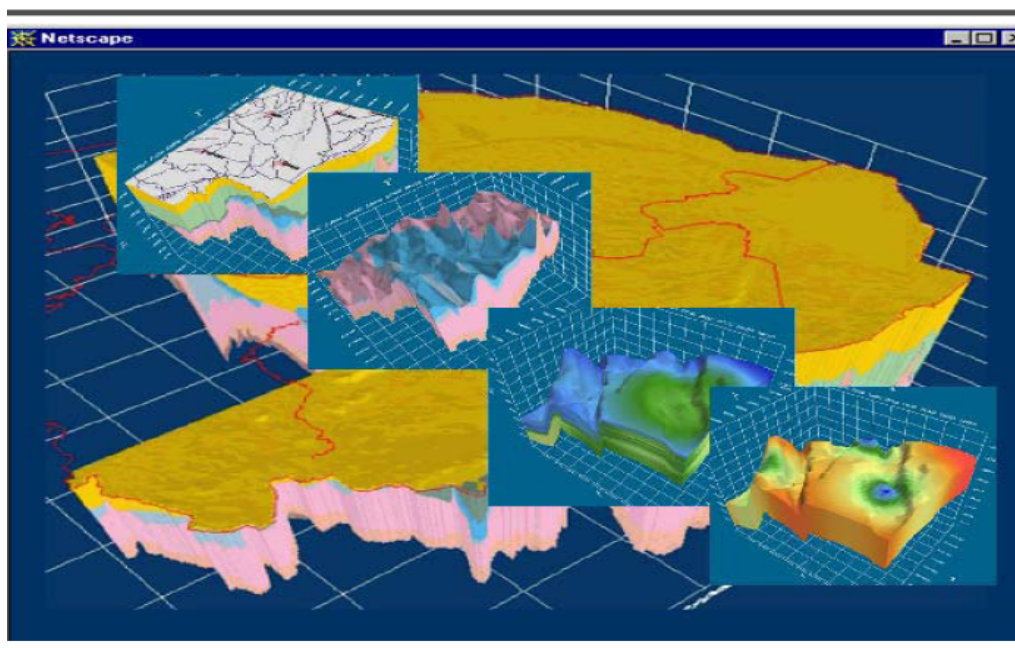
Еще одно преимущество ГИС – это возможность обрабатывать большие массивы геологических данных (рис 5.9.1). ГИС позволяет легко обработать данные для нескольких тысяч точек. Одним из элементов ГИС являются статистические методы, например, метод Кригинга, эти методы можно использовать для интерполяции гидрогеологических параметров, например, высоты поверхности над уровнем моря или толщины водоносного пласта. ГИС также позволяет проводить экстраполяцию гидрогеологических данных и для ограниченного массива данных

**Рис 5.9.1** *Пример использования набора растровых данных для определения высоты поверхности над уровнем моря. Данные были получены из точечной информации высокой плотности с помощью растрового метода и обработаны с применением ГИС и специальных статистических программ для устранения шума (искусственные объекты, например, здания) и добавлением данных по местоположению и уровню поверхностных вод (используя данные по контурам поверхностных водных объектов).*



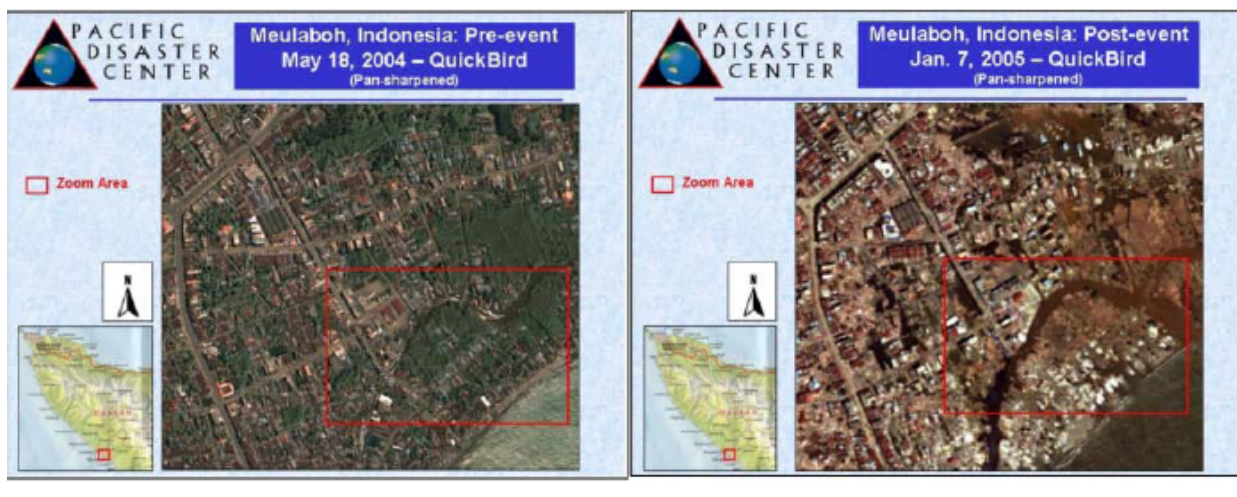
В настоящее время гидрогеологическая информационная система, основанная на ГИС, и имеющая свою базу данных, является открытой специализированной системой для хранения и обработки данных (рис. 5.9.2). Программы для обмена, проверки или презентации данных в виде графиков или таблиц внесены в информационную систему посредством стандартного программного обеспечения. Это позволяет значительно повысить доступность и взаимозаменяемость гидрологических данных.

**Рис 5.9.2** Пример 3D-изображения, полученного с помощью ГИС данных. На рисунке показана топография, подземные слои и характеристики горизонтов подземных вод



В настоящее время использование ГИС не ограничено информацией, накопленной на местных серверах. ГИС обычно устанавливается на офисных ПК и может быть соединен с сервером данных в любом месте земного шара. Это позволяет получить доступ к самым последним картам и данным ДЗ, которые можно использовать для восстановления реальной картины событий. Например, через несколько дней после цунами в декабре 2004 г. можно было увидеть карту, показывающую пострадавшие районы, полученную на основе анализа данных по высоте над уровнем моря и спутниковых данных (рис. 5.9.3).

**Рис. 5.9.3** Пример полученного со спутника изображения, показывающего ущерб, нанесенный цунами (фотография предоставлена Тихоокеанским центром катастроф)



Разработка ГИС технологий позволяет пользователям получить доступ к гидрогеологическим данным на различных уровнях. Пользователи, которые только хотят видеть и производить сбор данных, как менеджеры, пользуются ГИС с помощью браузера. Они могут иметь только простые функции в своем распоряжении и не нуждаются в ГИС-лицензии для получения информации с любого ПК. Эта технология применяется для

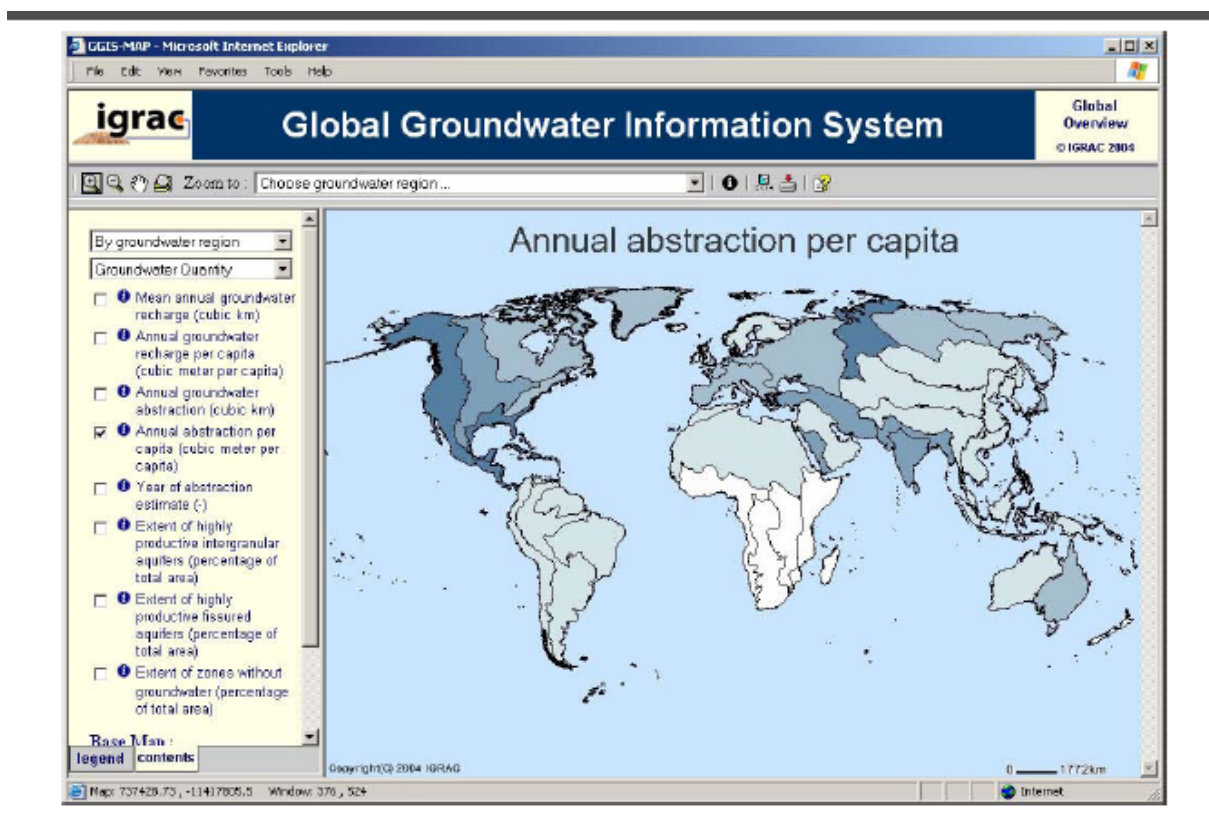
распространения данных с национальных баз данных или карт международных спасательных операций (рис. 5.9.4).

Пользователи, которым требуются более современные инструменты, используют ГИС и базы данных как основной источник информации для обработки данных, например, для обработки данных по подземным водам до и после проведения модельных расчетов. Инструменты для использования ГИС данных можно легко добавить в виде типовых элементов (plug-ins) с помощью стандартного программного обеспечения.

Многообразие применений ГИС трудно переоценить. ГИС образует важную часть инструментов, находящихся в распоряжении современного гидролога и является частью любого исследования ресурсов подземных вод в чрезвычайных ситуациях.

ГИС имеет особые преимущества при решении проблем стихийных бедствий. ГИС можно использовать для управления сценариями различных стихийных бедствий, разработки моделей стихийных бедствий, для картирования и более глубокого понимания воздействия землетрясений на ресурсы подземных вод, картирования оползней и определения ущерба, нанесенного землепользованию и системам водоснабжения, а также для решения многих других задач, связанных с использованием ресурсов подземных вод в чрезвычайных ситуациях.

**Рис. 5.9. 4** Пример карты для просмотра в Интернете (карта предоставлена IGRAC)





## 6. Требования касающиеся институциональной и технической базы

Внедрение планов смягчения последствий катастроф и планов управления водными ресурсами представляет собой сложный процесс, который является очень зависимым от степени развития институциональной и технической базы страны и от того, насколько последовательно эта база используется. Значимость создания институциональной и технической базы для успешного решения вопросов предотвращения катастроф, готовности к ним, реагирования на чрезвычайные ситуации, восстановления после них и ограничение их опасности было темой обсуждения Всемирной Конференции по уменьшению опасности катастроф (Кобе, Хёго, Япония, 2005). В общем заявлении специальной сессии конференции, уделившей особое внимание катастрофе в Индийском океане, подчеркивается необходимость снижения уровня риска ради безопасного будущего.

### 6.1 Создание институциональной базы

**Механизмы контроля**, учрежденные природоохранными и управляющими водными ресурсами правительственными организациями, направлены в основном на защиту водных ресурсов от ущерба, причиняемого деятельностью человека. Постоянный контроль промышленных и сельскохозяйственных предприятий, производящих жидкие и твердые отходы, предприятий по очистке сточных вод и переработке отходов является важным элементом водоохраной политики многих стран, базирующимся на принципах «загрязняющий окружающую среду должен это компенсировать» и «остановить загрязнение на начальном этапе». Системы мониторинга и предупреждения предоставляют данные о природных и техногенных факторах риска для эффективного функционирования механизмов правительственного контроля и обеспечения безопасности. Сохранение современного состояния водных систем, регулирование водного потока рек и контроль землепользования в регионах, подверженных затоплению, а также в областях восполнения водоносных пластов – все это важнейшие структурные меры по обеспечению большей защищенности населения в случае стихийных бедствий, и вследствие этого они должны осуществляться под руководством соответствующих государственных или муниципальных органов.

**Кадры специалистов**, высококвалифицированные, с опытом работы и высокой мотивацией, соответствующим образом подготовленные представляют собой важнейших не-структурный компонент на всех этапах ликвидации последствий природных катастроф, затронувших водные ресурсы. На стадии прогнозирования и предупреждения наиболее важной является роль специалистов инженерных служб, например, гидрогеологов, гидрологов, ответственных лиц, управляющих водными ресурсами, специалистов по планированию землепользования, юристов, представителей руководящих органов. На стадии действия сил стихии основная роль принадлежит специальным командам спасателей, обученным действиям в чрезвычайных ситуациях, силам гражданской обороны и специалистам по стихийным бедствиям, врачам и другому медицинскому персоналу, психологам, консультантам по качеству воды и добровольцам из неправительственных организаций. На стадии ликвидации последствий стихийного бедствия на первый план выходят такие специалисты, как строители и архитекторы, специалисты в области планирования землепользования, управления водными ресурсами, гидрологи и гидрогеологи, а также представители руководящих органов, поскольку их роль является важнейшей при проведении восстановительных работ, реконструкции поврежденных систем водоснабжения, а также организации систем распределения воды и санитарно-профилактических мероприятий. Многие слабо развитые страны испытывают нехватку людских ресурсов, необходимых для выполнения программ предотвращения стихийных бедствий и ликвидации их последствий и проведения необходимых мероприятий после разрушительных явлений. Поэтому, как предлагается в Хёгской декларации, важнейшей задачей при создании условий для большей устойчивости развивающихся стран к катастрофам является организация программ обучения в области уменьшения опасности катастроф для таких специалистов, как проектировщики, организаторы экстренных мероприятий в условиях чрезвычайных ситуаций и представители правительственных органов.

**Активное участие широкой общественности**, информирование населения и обучение в области предотвращения или уменьшения последствий природных или техногенных катастроф – это дальнейшие,

крайне важные, меры в рамках государственной политики, направленной на уменьшение опасности катастроф. Участие различных объединений и местных властей в подготовке и планировании действий на случай чрезвычайных обстоятельств, а также в быстром и эффективном устранении последствий чрезвычайно важно. В демократических странах участие общественности в деятельности по уменьшению опасности техногенных и природных катастроф, планированию землепользования, управлению рисками водопользования, народного образования, а также другие атрибуты участия общественности в политической жизни закреплены в законодательстве. Тем не менее, в некоторых странах наблюдается отсутствие связи между управляющими органами, ответственными лицами и общественностью. Развивающимся странам приходится сталкиваться с проблемой низкого уровня грамотности населения и изыскивать различные способы для того, чтобы информировать, просвещать, мотивировать местное население и привлекать его к участию в осуществлении мер по уменьшению опасности катастроф и их последствий. Другой важной задачей развитых стран, в которых имеется повышенная опасность стихийных бедствий, является углубление знаний: разработка обучающих программ и систем информации в области предотвращения и уменьшения опасности катастроф. Согласно Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), основные знания населения о возможных катастрофах должны включать: понимание степени риска (информация о причинах и течении катастрофических явлений), прогнозы и предупреждающую информацию, знания о способах уменьшения опасности катастроф (сведения о мерах по подготовке к опасным явлениям, например, защита систем снабжения питьевой водой), о воздействии опасных явлений (инструктирование о действиях, которые помогут уменьшить ущерб и спасти жизни людей) а также рекомендации о том, как следует вести себя в период после окончания действия опасных явлений. Несколько публикаций ЮНЕСКО, выпущенных в рамках Международной Программы по Гидрологии, посвящены роли населения в политике и стратегии уменьшения опасности катастроф и защиты водных ресурсов (Аффельтрангер, 2001, Дудж, 2004. и другие).

## 6.2. Создание технической и научной базы

Успех создания технической и научной базы зависит, в частности, от анализа состояния систем подземных вод, определения потенциальных или имеющихся источников загрязнения, опасности природных катастроф, внедрения и использования систем раннего предупреждения, проведения междисциплинарных научных исследований и распространения знаний.

**Анализ состояния систем подземных вод** является важной частью процесса формирования технической и научной базы. Исследование подземных вод должно принимать во внимание как существующие, так и предшествующие гидрологические циклы.

Создание концептуальной модели изучаемой области (см. главу 5.7) базируется на определении и исследовании ресурсов подземных вод, которые будут использоваться в чрезвычайных ситуациях, а также на оценке уязвимости и управлении рисками ресурсов подземных вод в регионах, подверженных возможности стихийных бедствий. Научный и технический вклад, необходимый для анализа систем подземных вод, подробно описывается в главе 5.

**Определение и составление перечня возможных стихийных бедствий и источников загрязнения подземных вод.** Составление перечня и оценка исторических данных о природе, размерах, частоте и воздействии стихийных бедствий в регионах, где имеется опасность природных катастроф, представляют собой важные элементы политики уменьшения опасности и последствий катастроф. Изучение существующих источников загрязнения подземных вод (происхождение и размеры), а также оценка и отображение природной чувствительности подземных вод к потенциальному загрязнению в равной мере служат целям политики защиты ресурсов подземных вод и управления ими. Однако, обычно внимание заостряется на существующих источниках загрязнения, и в меньшей степени – на потенциальных проблемах загрязнения. Выявление, картирование и мониторинг регионов, подверженных наводнениям, засухам, оползням, землетрясениям и районов вулканической активности составляют важную часть деятельности, направленной на поддержку политики предотвращения катастроф и уменьшения их последствий на всех уровнях управления.

Учреждение и использование мониторинговых систем раннего предупреждения, в рамках которых проводится наблюдение за степенью воздействия природных и техногенных катастроф является вкладом в политику уменьшения опасности катастроф и в деятельность по ограничению их последствий.

Частота и масштабы разрушительных явлений возрастают во всем мире. Следовательно, существует настоятельная необходимость использования интегрированных мониторинговых систем раннего предупреждения для сбора и распространения данных, требующихся для своевременного выявления и лучшего понимания признаков возможной катастрофы и ее воздействия на население и окружающую среду. К сожалению, такие системы в настоящее время являются редкостью. Относительно хорошо развиты сети мониторинга поверхностных вод, действующие во многих бассейнах рек, расположенных как внутри государств, так и находящихся в совместном пользовании различных стран, а также мониторинговые системы раннего предупреждения в сейсмоопасных регионах и районах вулканической активности. Сети мониторинга подземных вод развиты хуже. Местные системы мониторинга вблизи источников загрязнения, отслеживающие направления движения шлейфа загрязнения и эффективность защитных мер, были созданы в основном в



индустриально развитых странах. В глобальном масштабе мониторинговые системы раннего предупреждения развиты слабо и координация их деятельности часто отсутствует.

Дублинская Конференция по Водным Ресурсам и Окружающей Среде (1992) отметила ответственность правительств за пропаганду необходимости и обеспечение условий для организации и функционирования мониторинговых систем раннего предупреждения и соответствующих программ. Вопрос создания мониторинговых систем раннего предупреждения с целью обеспечения быстрых и скоординированных действий в случае угрозы или возникновения чрезвычайных ситуаций включен Всемирной Конференцией по уменьшению угрозы катастроф (2005 г.) в число приоритетных на период 2005-2015 гг. Конференция выразила свою поддержку Ассоциации государств Юго-Восточной Азии в связи с ее согласием, выраженным на встрече в Джакарте (2005 г.) учредить региональную систему раннего предупреждения, наподобие Регионального Центра Раннего Предупреждения о приближении цунами на побережье Индийского океана и в Восточно-Азиатском регионе.

Междисциплинарные научные исследования и распространение знаний и опыта необходимы для обновления, усовершенствования и развития методов обеспечения раннего предупреждения и методов прогнозирования и оценки риска природных катастроф. Эти методы позволят достичь лучшего понимания процессов, связанных с зарождением стихийных бедствий и лучшего прогнозирования таких явлений, а также сделают управление рисками, связанными с использованием водных ресурсов, более эффективным. Создание и использование глобальных сетей раннего предупреждения и мониторинга окружающей среды, систем готовности к стихийным бедствиям, обмен данными о глобальных гидрологических циклах и распространение таких данных являются важными инструментами научной разработки политики и стратегии прогнозирования природных катастроф и ограничения их воздействия. «Декларация о научных исследованиях и использовании научных знаний», принятая на Всемирной Конференции по Науке ЮНЕСКО/МСНС (1999), подчеркивает важность междисциплинарных научных исследований, результаты которых могут оказаться значительным вкладом в обеспечение экономического роста и устойчивого развития, снижения уровня бедности и уменьшения опасности различных катастроф.

Несколько других организаций при ООН поддерживают научную деятельность, имеющую отношение к изучению чрезвычайных ситуаций, связанных с водными ресурсами. Всемирная Конференция по уменьшению опасности катастроф (2005) указала, что распространение знаний, технологий и опыта увеличивает возможности снижения риска катастроф, обмена научными данными, сведениями об учтенных недоработках и наиболее эффективных практических действиях.

## **7. Предотвращение и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф**

Дудж (2004) предложил подразделить катастрофы на 5 стадий – прогнозирование, предупреждение, воздействие, прекращение действия и восстановление для мест, периодически подвергающихся стихийным бедствиям, – внезапным катастрофическим приливом воды (наводнения), геологическим катастрофам (землетрясения, извержения вулканов) или воздействию таких явлений, как цунами, оползни и селевые потоки. Гидрологическая засуха, Эль-Ниньо, внезапные ливни и ураганы также классифицируются как периодически повторяющиеся катастрофические события. Климатологическая засуха может оказаться длительным бедствием, ведущим к гидрологической засухе или даже к войне за водные ресурсы или региональным вооруженным конфликтам. Такие явления могут длиться годами, пример – засухи в Сахеле. Все виды катастроф влекут за собой серьезные социальные, экономические и экологические последствия для местного населения. Перечисленные ниже действия должны быть предприняты на определенных фазах развития природных катастроф.

### **7.1 Фаза прогнозирования**

Наиболее важными действиями в фазе прогнозирования для служб обеспечения питьевой водой является определение и оценка потенциального риска и уязвимости существующих систем водоснабжения (использующих воду как подземных, так и наземных источников), обеспечивающих поступление воды, как для технических нужд, так и для бытовых целей, а также выявление, установление границ и оценка ресурсов подземных вод, устойчивых к действию природных сил. Эти шаги требуют междисциплинарного сотрудничества гидрологов, гидрогеологов, специалистов по управлению водными ресурсами, по землепользованию, юристов, специалистов по чрезвычайным ситуациям, представителей руководящих органов, и в особенности – участия местных властей и населения. Землепользование, и в особенности его планирование в городах и сельской местности является важным аспектом, который может сыграть значительную роль в предотвращении чрезвычайных ситуаций. В развивающихся странах население часто проживает в районах неплановой застройки города, находящихся ниже уровня затопления при наводнениях или на подножиях вулканов. Плохое, неустойчивое использование земель (например, сведение лесов) привело к эрозии почв и ухудшению микроклимата во многих регионах по всему миру, что в свою очередь стало причиной большей уязвимости этих регионов в случае засухи, наводнения или оползня. Карты, отражающие геологические, гидрогеологические условия, уязвимость водных ресурсов, условия землепользования и управления водными ресурсами в сочетании указанием риска стихийных бедствий и возможных последствий являются важным инструментом определения и выявления ресурсов подземных вод, устойчивых к воздействию природных катастроф и техногенных факторов. Однако, таких карт подходящего масштаба и содержания чаще всего нет. Следовательно, необходимо запланировать проведение соответствующих геологических, гидрогеологических, изотопных гидрологических и других необходимых работ (см. главу 5), также необходимо провести оценку стоимости таких работ. Такие меры предосторожности еще не были приняты во многих опасных регионах. Также не были разработаны планы управления рисками, имеющими отношение к водным ресурсам, и не было проведено изыскание ресурсов подземных вод, имеющих хорошую естественную защиту.

### **7.2. Фаза предупреждения**

Тесную связь с описанной выше деятельностью имеет создание и использование мониторинговых систем раннего предупреждения о различных угрозах климатического, гидрологического или геологического характера. Системы геологического мониторинга действуют во многих сейсмоопасных регионах и в районах вулканической активности, они помогают предсказывать опасные явления и ограничивать их последствия, снижать социальную и экономическую уязвимость населения и осуществлять раннее оповещение о необходимости своевременной эвакуации. Тем не менее, часто отсутствуют интегрированные системы гидро-климатического мониторинга и системы раннего предупреждения о засухах и наводнениях.

Системы мониторинга подземных вод, в задачу которых входит, в частности, наблюдение за хорошо защищенными режимами, в настоящее время являются редкостью, также как и данные по глубоко залегающим водоносным горизонтам, в особенности в развивающихся странах. Определение надежных признаков надвигающегося бедствия, уязвимости ресурсов подземных вод и функционирование систем раннего предупреждения являются важными элементами фазы предупреждения. Действия в этой фазе должны быть направлены на принятие защитных мер и ограничение масштабов возможного ущерба.

### **7.3. Фазы воздействия и прекращения действия**

Фазы воздействия и прекращения действия требуют в основном усилий, направленных на спасение подвергшихся действию стихии во время и после катастрофического события. В этих фазах также требуется немедленная внешняя помощь. Одним из приоритетов на данном этапе является распределение питьевой воды, поскольку существующие системы водоснабжения обычно не действуют, а поверхностные воды и неглубоко залегающие водоносные горизонты загрязнены. В тех местностях, где заранее были выявлены водные ресурсы, защищенные благодаря природным особенностям и которые могут быть использованы в чрезвычайных ситуациях, действия по оказанию экстренной помощи, в частности - раздача питьевой воды, будут быстрыми и эффективными. Такой концептуальный подход был применен только в нескольких странах. Пострадавшее население обычно снабжается бутылочной водой, привезенной из других местностей или привозной водой из цистерн. Это в лучшем случае временные меры, они только подчеркивают зависимость населения от внешней помощи. Для выживания в течение короткого периода требуется 30 литров воды в день на человека: 10 литров для питья и 20 литров – для приготовления пищи (ВОЗ, 2005). Восстановление и очистка поврежденных скважин часто представляют собой долгий процесс. Вода может быть загрязнена химическими веществами или сточными водами, и чистка скважин и удаление загрязнения требуют больших затрат и применения сложных технологий. Там, где были предварительно выявлены водоносные пласты, устойчивые к воздействию природных катастроф, имеются буровые установки и денежные средства из фондов, зарезервированных на случай чрезвычайных обстоятельств, могут быть быстро пробурены новые скважины для добычи воды в чрезвычайной ситуации. Однако, при отсутствии таких знаний и готовности, мероприятия по оказанию помощи могут оказаться крайне запоздавшими.

### **7.4 Фаза восстановления**

В фазе восстановления обеспечение питьевой водой обычно является проблемой в течение длительного срока. Восстановление систем водоснабжения и инфраструктуры распределения воды может продолжаться недели или месяцы, восстановление загрязненных источников воды может потребовать нескольких лет. Одним из эффективных, и часто быстрых решений, упомянутых выше, является интенсивная откачка из существующих глубоких скважин - источников воды, поступающей в водопроводную сеть из глубоко залегающих водоносных пластов, не подверженных воздействию природных явлений, или разработка малоуязвимых глубоких водоносных горизонтов в тех областях, где они уже были разведаны и их свойства изучены. Это обычно невозможно для развивающихся стран, а иногда даже и для многих развитых. Другим важным моментом является последующая оценка всех фаз процесса спасения населения, подготовка планов восстановления, включая планы управления водными ресурсами, а также оценка всех экстренных затрат. Разработка более эффективной политики, направленной на уменьшение опасности катастроф и снижение уровня социальной и экономической уязвимости населения на основе оценки прошлых катастроф, остается очень большой проблемой. Как было указано в Призыве к действиям на период 2005-2015 гг., принятом на конференции в Хёго: необходимо создание условий устойчивости к катастрофам государств и сообществ. В достижении этой цели огромную роль с точки зрения уменьшения страданий населения в будущих катастрофах должно сыграть привлечение местных властей и населения к процессам предотвращения катастроф, уменьшения их опасности и к работе по восстановлению после стихийного бедствия, а также к планированию мер по обеспечению защиты источников питьевой воды и к разработке планов управления рисками водопользования.

### **7.5 Планы снижения риска катастроф и планы управления рисками водопользования**

Планы управления рисками водопользования в случае стихийных бедствий являются частью комплексной стратегии по разработке планов снижения риска катастроф, построенных на принципах ответственности местных властей, местных сообществ, социальных групп и отдельных лиц в отношении

действий по снижению риска чрезвычайных ситуаций. Оценка риска наступления катастрофического события, социальной и экономической уязвимости населения и готовности к стихийным бедствиям представляют собой важные элементы планов и политики предотвращения катастроф и уменьшения их последствий. Принципы, лежащие в основе политики управления катастрофами описаны Дуджем (2004), наряду с другими авторами, такими, как Плейт (2003), Аффельтрангер (2001). Янг и др., (1994) и Блейки и др. (1994), а также сформулированы в документах различных организаций ООН. Ответственность правительств за обеспечение защиты своих граждан от природных катастроф и необходимость особого внимания к сфере управления рисками катастроф, затрагивающих водные ресурсы, была в центре внимания Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио (1992), Дублинской Конференции по водным ресурсам и окружающей среде (1992), Программы 21 и других документов ООН и резолюций ее Генеральной Ассамблеи.

Йокогамская Стратегия борьбы за более безопасный мир: Директивы по предотвращению природных катастроф и ограничению их последствий, а также План Действий, принятый на Всемирной Конференции по уменьшению опасности природных катастроф (1994) явились важными шагами в направлении внедрения политики и практики снижения риска катастроф. На протяжении Международного Десятилетия Уменьшения Риска Природных Катастроф (1990-2000) усилия ООН многократно направлялись на повышение уровня защищенности населения от воздействия стихийных бедствий и привлечение общественности к активному участию в деятельности по предотвращению катастроф и уменьшению их последствий. Среди ключевых целей в Декларации Тысячелетия (2000) указывается укрепление международного сотрудничества в целях уменьшения числа природных и техногенных катастроф и смягчения их последствий. Всемирный Саммит по устойчивому развитию, состоявшийся в Йоханнесбурге (2002), в своем Плате Реализации отметил следующие действия: «Комплексный, учитывающий различные опасности, инклюзивный подход к решению проблем уязвимости, оценки рисков и управления катастрофами, включающих в себя вопросы предотвращения, ограничения сферы воздействия катастроф, подготовки к ним, реагирования и восстановления после них, является важным элементом деятельности, нацеленной на то, чтобы сделать мир более безопасным в 21 веке».

Всемирная Конференция по уменьшению опасности катастроф, которая состоялась в г. Кобе (Префектура Хёго, Япония) в январе 2005 года, была проведена вскоре после опустошительного цунами в Юго-Восточной Азии (декабрь 2004). В Декларации Конференции (Хёгская Декларация) была вновь подтверждена жизненно важная роль системы ООН в уменьшении опасности катастроф. Стратегические цели были сформулированы в Хёгском Призыве к Действию на период 2005-2015 гг.: необходимость создания условий устойчивости к катастрофам государств и сообществ будет воплощена в конкретные действия на всех уровнях с целью снижения риска катастроф и уязвимости населения и используемых им ресурсов, в том числе водных. Вопрос снижения чувствительности к природным катастрофам развивающихся стран, расположенных на небольших островах обсуждался в рамках дискуссии по Программе действий по достижению устойчивого развития в небольших развивающихся островных государствах на международной встрече, проведенной на Маврикии (2005).

Несколько проектов, осуществленных в ходе шестой фазы (2002-2007) Международной Гидрологической Программы (МГП), координируемой ЮНЕСКО, были направлены на решение проблем управления земельными ресурсами при чрезвычайных ситуациях. В особенности этому вопросу уделялось внимание в рамках Темы 2: Несколько проектов по теме «Общий Водораздел и Динамика Водоносных Горизонтов» были осуществлены с целью: 1) создания базы для уменьшения социо-экономической и экологической чувствительности к воздействию гидрологических событий и 2) анализа чрезвычайных ситуаций путем сведения воедино данных различных источников (исторических, полученных с помощью приборов, со спутников) для достижения более полного понимания этих явлений в пространственно-временных рамках. Проект «Подземные воды для чрезвычайных ситуаций» - «(GWES)» - один из ключевых проектов МГП в рамках Международного Десятилетия Уменьшения Риска Природных Катастроф и Йоханнесбургского Плате воплощения решений Всемирного Саммита по Устойчивому Развитию.

## 8. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И БУДУЩЕЕ

Рамочный документ GWES подчеркивает роль подземных вод в чрезвычайных ситуациях, складывающихся после климатических, гидрологических и геологических катастроф, которые оказывают воздействие на сотни миллионов людей ежегодно. В особенности в развивающихся странах физическая, социальная и экономическая уязвимость населения в случае стихийных бедствий очень велика. Йогогамская стратегия и План борьбы за более безопасный мир, принятые в 1994 году, предусматривают внедрение практики более эффективного снижения риска катастроф. Необходимость такой практики была вновь подчеркнута в Хёгском Призыве к Действиям на период 2005-2015 годов, принятом на Всемирной Конференции по уменьшению опасности катастроф, проведенной в Японии в 2005 году. Развитие базы для снижения уровня экологической и социо-экономической уязвимости при стихийных бедствиях также является частью деятельности в рамках определенных проектов в шестой фазе реализации Международной Гидрологической Программы (МГП).

Сбережение питьевой воды для пострадавшего населения является одним из приоритетов в ходе развития катастрофы и сразу после ее окончания. Эта задача лежит в основе проекта ЮНЕСКО/МГП «Подземные Воды для Чрезвычайных Ситуаций», его главной задачей является анализ методов выявления защищенных водных ресурсов, методов их исследования, оценки рисков и управления ими. Такие методы перечислены в рамочном документе, а также в нем определена роль институциональной и технической базы для снижения уровня риска и уменьшения числа жертв, поскольку она должна обеспечить надлежащее использование ресурсов питьевой воды. Но это всего лишь первый шаг в осуществлении проекта. Организация симпозиумов и семинаров, посвященных проблемам использования подземных вод в различных чрезвычайных ситуациях, является следующей важной темой проекта GWES. Ряд таких симпозиумов уже был проведен. Первый - по проблемам использования подземных вод в чрезвычайных ситуациях в Центральном – Американском регионе, был организован в Мехико (2004) в рамках работы Конгресса Международной Ассоциации Гидрогеологов.

В ходе встречи рабочей группы проекта GWES в Нью-Дели (2005) состоялась плодотворная дискуссия с местными специалистами по вопросам ущерба, причиняемого цунами и связанным с ним проблемам, имеющим отношение к подземным водам. Другие симпозиумы будут проведены вскоре после публикации Рамочного документа GWES, который послужит основой для обучения и проведения тренингов. Самым важным результатом выполнения проекта GWES станет публикация методических руководств, подкрепленных конкретными примерами и перечнем объемов подземных вод, не подверженных природному и техногенному воздействию. Они будут выявлены в отдельных, предварительно выбранных экспериментальных регионах, предпочтительно неоднократно подвергавшихся воздействию стихии, такие например, как Юго-Восточная Азия. Очень ценным на этом этапе будет продолжающееся сотрудничество с Международным центром Оценки Подземных Вод (IGRAC). На заключительной стадии проекта GWES будет проведен международный симпозиум для обобщения и распространения полученных знаний и опыта выявления, исследования и управления ресурсами подземных вод, пригодных для использования в качестве источника питьевой воды в чрезвычайных ситуациях.



## 9. ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ, избранные труды и планируемые доклады

- Ackland, M.C. and Hunter, T.C. 2002. *Australia's Honeymoon Project - (Form Acquisition to Approval - 1997 to 2002)*. 33th Technical Committee Meeting on Uranium Resources, Production and Demand, IAEA, Beijing.
- Affeltranger, B. 2001. *Public Participation in the Design of Local Strategies for Flood Mitigation and Control*. Technical Documents in Hydrology No. 48, UNESCO, Paris.
- Barker, R.D. 1992. *The Offset System of Resistivity Sounding and its use with a Multicore Cable*. Geophysical Prospecting, Vol. 29, 128–143.
- Bates, R.L. and Jackson, J., A. (eds.) 1980. *Glossary of Geology*, American Geological Institute. Falls Church, Virginia.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. and Wisner, B. 1994. *At Risk. Natural Hazards, People, Vulnerability and Disasters*. Routledge, London and New York, 284pp.
- Chebotarev, I., I 1955. *Metamorphism of Natural Waters in the Crust of Weathering*. Geochim. Cosmochim. Acta 8, London, New York, 23 – 48, 137 – 170, 198 – 212.
- CGWB (Central Ground Water Board) India. 1999. *Technical Report of Central Groundwater Board on ORRISA Coast Super Cyclone*.
- Clark, I.D. and Fritz, P. (1997) *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, New York, 328 pp.
- Domenico, P. A. 1972. *Concepts and Models in Groundwater Hydrology*. Mc. Graw-Hill, New York, 405 pp.
- Dooge, J. 2004. *Ethnics of Water Related Disasters*. Series on Water and Ethics, Essay 9, UNESCO, Paris.
- Drury, S.A. and Deller, A. 2002. *Remote Sensing and Locating New Water Sources*. [http://www.oosa.unvienna.org/SAP/stdm/2002\\_Africa/presentations/session\\_09A/speaker01](http://www.oosa.unvienna.org/SAP/stdm/2002_Africa/presentations/session_09A/speaker01).
- Elfouly, A. 2000. *Faults and Fractures Intersections Delineation as a Tool for Groundwater Detection Using Remote Sensing and Ground Penetrating Radar Techniques at Saint Catherine Area, Southern Sinai, Egypt*. ICEHM2000, Cairo University, Egypt, 293–310.
- Fetter, C.W. 1988 *Applied hydrogeology*. Merrill Publishing Company, Columbus, Toronto, London, Melbourne.
- Fried, J. 1975. *Groundwater pollution*. Develop. in Water Science 4, Elsevier New York, 339 pp.
- Ghergut, I., Maloszewski, P. and Seiler, K.-P. 2001. *Age, Environmental Isotope, and Contaminant Transport Uncoupling in Heterogeneous Aquifers Following Hydraulic Stress*. In: *New Approaches Characterizing Groundwater Flow*, Vol. 1 (Eds.: Seiler K.-P. and Wöhrlich S.), 327–334, (Balkema) Lisse, Abingdon, Exton, Tokyo, 293–310.
- Griffiths, D. H., Turnbull, J. and Olayinka, A.I. 1990. *Two Dimensional Resistivity Mapping With a Computer Controlled Array*. First Break 8, 121–129.
- Griffiths, D.H. and Turnbull, J. 1985. *A Multi Electrode Array for Resistivity Surveying*. First Break 3, 16–20.
- Griffiths, D.H. and Barker, R.D. 1993. *Two-Dimensional Resistivity Imaging and Modeling in Areas of Complex Geology*. Journal of Applied Geophysics 29, 211–226.
- Hall, D.H. and Hajnal, Z. 1962. *The Gravimeter in Studies of Buried Valleys*. Geophysics, Vol. 27, No. 6, 937-951.
- Hassan, F.A. 2004. *Water and Ethics. A Historical Perspective*. UNESCO, 55 pp.
- Jain, R.C. and Saleem, R. 2005. *Groundwater Risk Management in regions affected by tsunami*. A Technical Report of Central Groundwater Board, India submitted to GWES.
- Keller, E.A. 1976. *Environmental Geology*. Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio.
- Kinzelbach, W. 1986. *Groundwater Modelling*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 333 pp.
- Kumar, A. and Tomar, S. 2002. *Application of Remote Sensing and GIS for Groundwater Assessment*. Development Alternatives Newsletter. Vol. 12, No. 12.
- Loke, M.H. and Barker, R.D. 1996. *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by a Quasi-Newton Method*. Geophysical Prospecting 44, 499–524.
- Mackenzie Valley corridor*. Proc. 3rd Int. Conf. Permafrost, Edmonton, 207–211.
- Mahmood, A. 1996. *Lineaments as Groundwater Exploration Guides in Hard-Rock Terranes of Arid Regions*. Canadian Journal of Remote Sensing Vol. 22, No.1.
- McMahon, A., Heathcote, J., Carey, M. and Erskine, A. 2001. *Guide to good practice for the development of conceptual models and the selection and application of mathematical models of contaminant transport processes in the subsurface*. Report NC/99/38/2 National Groundwater and Contaminant Land Centre. ISBN 1 857 05610 8.
- Maloszewski, P. and Zuber, A. 1996. *Lumped Parameter Models for Interpretation of Environmental Tracer Data*. In: *Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrogeology*. Teedoc-910, IAEA, Vienna, 9–58.
- Matthess, G. 1982. *The Properties of Groundwater*. A Wiley – Interscience Publication, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 406 pp.
- Mazor, E. 1991. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong.
- Meinzer, O.E. 1942. *Ground Water*, in: Meinzer, O. E. (ed.), *Hydrology*, Dover Publications, Inc., New York.
- Merkel, B. and Planner-Friedrich, B. 2002. *Grundwasserchemie. Praxisorientierter Leitfaden zur Numerischen*

- Modellierung von Beschaffenheit, Kontamination und Sanierung Aquatischer Systeme*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, London, Mailand, Paris, Tokyo, 219 pp.
- Michel, F.A. and Fritz, P. 1978. *Environmental Isotopes in Permafrost Related Waters along the Mackenzie Valley Corridor*. Proc. 3rd Int. Conf. Permafrost, Edmonton, 207–211.
- Naumann, U., Maloszewski, P., Ghergut, I., Seiler, K.-P. and Stichler, W. 2005. *Estimating Microbial Denitrification Parameters from in situ Bioreactor Operation under Groundwater Conditions*. IAH (in press).
- Oglivi, A.A. 1967. *Geophysical Prospecting for Groundwater in the Soviet Union*. In: *Mining and Groundwater Geophysics*. Economic Geol. Bull., Vol. 26, Can. Geol. Surv.
- Patangay, N.S., Ranga Rao, K.V. and Bhimasankaram, V.L.S. (1981). *Radial SP Surveys for Determining Flow Direction of Groundwater*. JAEG, Vol. 1, No. 3, 47–50.
- Plate, E. J. 2003. *Human Security and Natural Disasters*. Federal Ministry of Education and Research, Bonn, Germany, 24 pp.
- SADC. 2003. *Interim Report to Southern African Development Community. Regional Situation Analysis*. RFP # WB 1861-571/02. February 2003. Wellfield Consulting Services, Gaborone, Botswana and British Geological Survey, Crowmarsh Gifford, UK.
- Saint-Jean, R. and Singhroy, V. 2000. *Hydrogeological Mapping in the Semi-arid Environment of Eastern Jordan Using Airborne Multipolarized Radar Images*. First Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza - Ceara, Brasil.
- Seiler, K.-P. and Lindner, W. 1995. *Near Surface and Deep Groundwater*. Jour. Hydrol. 165, 33–44.
- Shiklomanov, I.A. 1999. *World Water Resources. Modern Assessment and Outlook for the 21st Century*, UNESCO, Paris, 50 pp.
- Šilar, J. 2002. *Groundwater Resources for Emergency Cases in the Lower Reaches of the Labe (ELBE) River (Czech Republic)*. A contribution to the UNESCO IHP programme (working document, not published).
- Singh, S.B., Dhar, R.L., Radhakrishna I. and Prasada Rao, N.T.V. 1990. *Deep Resistivity Studies for Groundwater Exploration in Barmer District, Rajasthan*, Technical Report No: NGRI-90-Environ-82, 72 pp.
- Sukhija, B.S., Reddy, D.V., Nagabhushnam, P., Hussain, S., Giri, V.Y. and Patl D.J. 1996. *Environmental and Injected Tracer Methodology to Estimate Direct Precipitation Recharge to a Confined Aquifer*. Journal of Hydrology, Vol. 177, 77–97.
- Sukhija, B.S. 2005. *Understanding Groundwater System for Its Sustainability*. Journal of Geological Society of India. Vol. 65, 655–657.
- Sukhija, B.S., Reddy, D.V., Nagabhushnam, P., Bhattacharya, S.K., Jani, R.A. and Kumar, D. 2005. *Characterisation of Recharge Processes and Groundwater Flow Mechanism in Weathered-Fractured Granites, Hyderabad, Andhra Pradesh, India, Using Isotopes*. Hydrogeology Journal, Springer (accepted for publication).
- Tokunaga, T. 1999. *Modelling Earthquake Induced Hydrological Changes and Possible Permeability Enhancement due to the 17 the January 1995, Kobe Earthquake Japan*. Journal of Hydrology 223, 221–229.
- UN WWDR, 2003. *Water for People – Water for Life*. UNESCO, WWP, Berghahn Books.
- Varian, R.H. 1962. *Ground Liquid Prospecting Method And Apparatus: US Patent 019383*.
- Verhagen, B.Th. 1992. *Detailed Geohydrology with Environmental Isotopes – A Case Study at Serowe, Botswana*. In: *Isotope Techniques in Water Resources Development 1991*, IAEA, Vienna, 345–362.
- Verhagen, B. Th., Bredenkamp, D.B., Janse van Rensburg, H. and Farr, J.L. 1999. *Recharge Quantification with Radiocarbon: Independent Corroboration in Three Karoo Aquifer Studies in Botswana*. In: *Isotope Techniques in Water Resources Development and Management*. Proc. Int. Symp. C&S Papers Series 2/C, IAEA, Vienna, 14 pp.
- Verhagen, B.Th., Butler, M.J., van Wyk, E. and Levin, M. 2003. *Environmental Isotope Studies as Part of a Rural Ground Water Supply Development: Taaibosch Area, Limpopo Province, South Africa*. TecDoc, IAEA (in print).
- Verhagen, B.Th. and Butler, M.J. 2004. *Isotopes and Chemistry Suggest Natural Processes for High Nitrate in Ground Water*. Proceedings, WISA Conference, Cape Town, 2–6 May 2004.
- Verhagen, B.Th., Smith, P.E., McGeorge, I.L. and Dziembowski, Z. 1979. *Tritium Profiles in Kalahari Sands as a Measure of Rain-Water Recharge*. Isotope Hydrology, Vol. II, IAEA, Vienna, 733–751.
- WHO. 1996. *Guidelines for Drinking Water Quality. Health Criteria and other Supporting Information*. Vol. 2, World Health Organisation, Geneva, 973 pp.
- WHO. 2005. *Technical Notes for Emergency*. Regional Office for South – East Asia, WEDC, UK. Young, G.J., Dooge, J.C.I., Roods, J.C. 1994. *Global Water Resources Issues*. Cambridge University Press.
- Zuber, A. 1993. *Mathematical Models for the Interpretation of Environmental Radioisotopes in Groundwater Systems*. In: *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 2, Part B. (Fritz, P. and Fontes, J. Ch., Eds) Elsevier, Amsterdam, 1–59.

## 10. Исследования конкретных случаев

### 10.1. Роль изотопной гидрологии в выявлении безопасных ресурсов подземных вод в Южной Африке

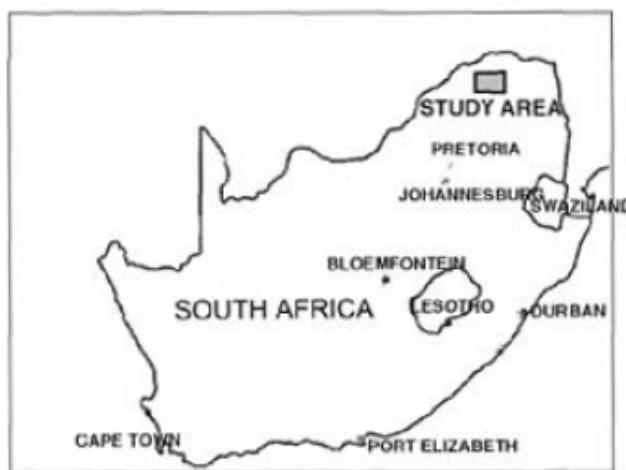
Б.Т. Верхаген

Школа геологических наук, Университет Уитуотерсэнд,  
Йоханнесбург, Южно-Африканская Республика

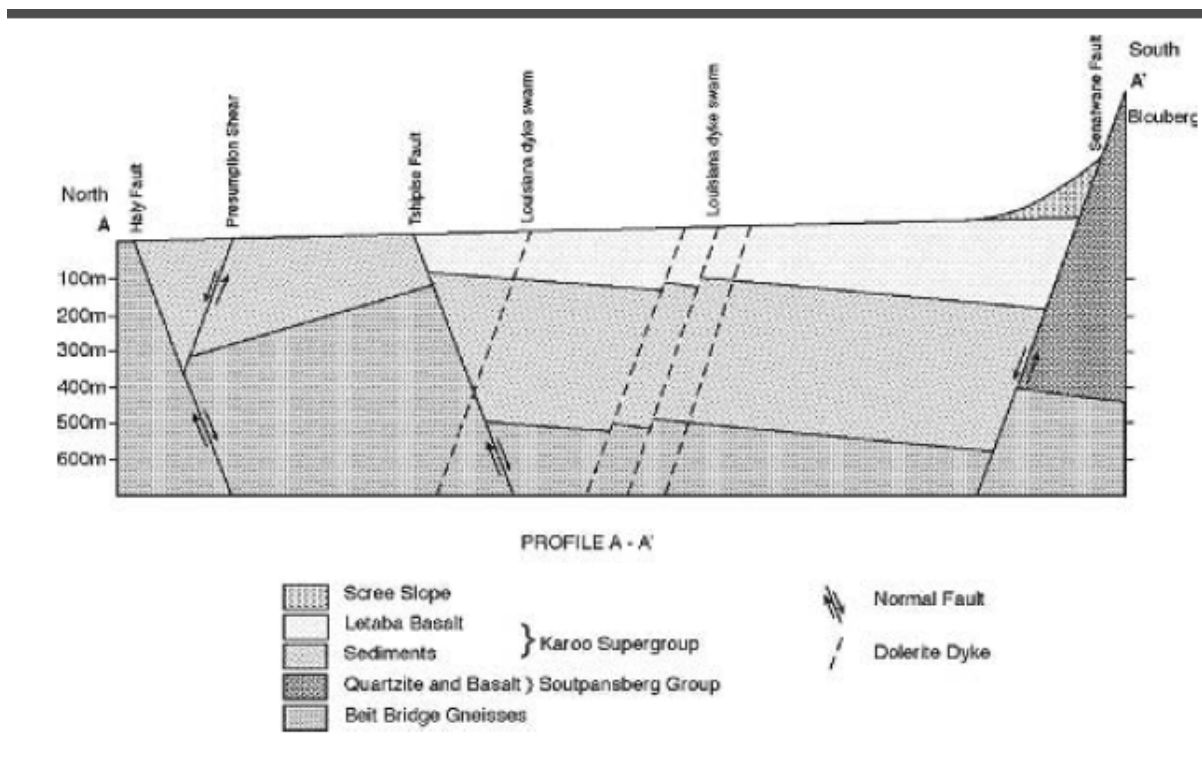
#### Введение

Неглубоко залегающий базальтовый водоносный горизонт был исследован с целью выявления его устойчивости для снабжения водой 26 деревень в провинции Лимпопо, Южная Африка (Рис.10.1.1). Первоначальный подход основывался на концептуальной полуколичественной гидрологической модели, предложенной десятью годами ранее. Согласно этой модели, дождевые осадки восполняют неглубоко залегающий фреатический базальтовый водоносный горизонт, подстилающий равнину площадью  $\sim 600 \text{ км}^2$ . Подземные воды стекают в северном направлении, удаляясь от горного водораздела на юге в сторону зоны большого разлома Чиписи, выступающего одновременно как в качестве водоприемника, так и стока подземных вод из этой области (Рис. 10.1.2.). Подстилающие уплотнившиеся отложения, представленные в основном песчаниками, встречающимися при пробном бурении вдоль зоны разлома, обычно оказывались водоносным горизонтом с небольшим дебитом в местах, где породы выходят на поверхность.

*Рисунок 10.1.1 Карта, отображающая расположение исследуемого участка*



**Рисунок 10.1.2 Меридиональный геологический разрез С-Ю исследуемого региона. Обратите внимание на горы на юге и реку Чиписи на севере**



Поэтому водоснабжение района осуществляется в основном из зоны разлома, а потенциал добычи подземных вод оценивается на уровне  $1 \times 10^6 \text{ м}^3$  на километр простирания разлома в год.

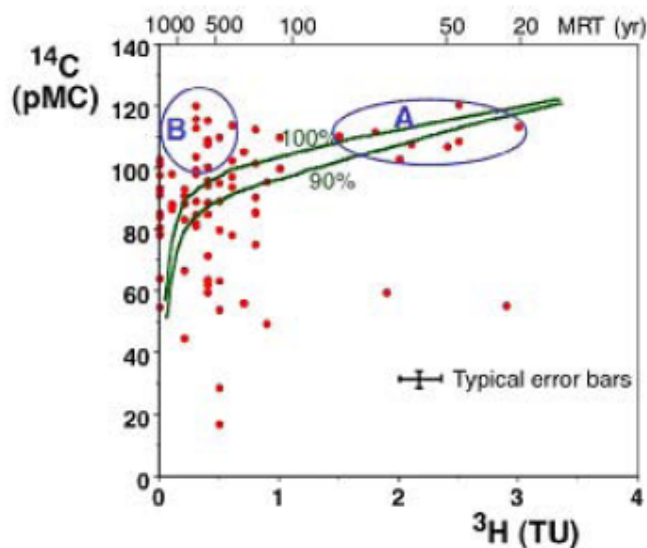
Новое исследование (Верхаген и др., 2003) на начальном этапе проводилось в зоне разлома. Из эксплуатационных и разведочных скважин, пробуренных, в основном, в базальте, отбирались образцы для анализа содержания природных изотопов и определения гидрохимического состава. Впоследствии из многочисленных скважин на равнине тоже были отобраны образцы. В связи с проведением изотопных исследований в разведочных скважинах, как на западной, так и на восточной стороне разлома, было установлено, что разлом имеет более сложную структуру, чем предполагалось ранее.

### Данные по изотопам: изменение концептуальной модели

Значения для стабильных изотопов  $^{18}\text{O}$  находятся в пределах узкого диапазона  $\sim -5\text{‰}$  с наклоном линии регрессии 5,5. В дождевой воде изотопы  $^{18}\text{O}$  наблюдаются в диапазоне от  $-12\text{‰}$  до  $-2\text{‰}$ . Таким образом, регион имеет достаточно однородные условия питания грунтового горизонта, при этом анализ испарения поверхностных вод, накапливающихся на плоской равнине перед просачиванием, позволяет установить общую картину содержания стабильных изотопов в грунтовых водах. Структура базальтового водоносного горизонта характеризуется высокими уровнями содержания радиоактивного изотопа углерода, значения которых, в основном, находятся в диапазоне от 80 до 100 pMC (процентов от современного уровня углерода), в сочетании с тритием в диапазоне 0-3 TE (третиевых единиц; Рис. 10.1.3).

Оценка питания грунтового горизонта может производиться на основании рассчитываемых по уровням изотопов значений среднего времени пребывания (СВП), а также глубины и пористости зоны насыщения. Сведения о гидрогеологических характеристиках базальтового водоносного горизонта практически отсутствовали. Вследствие неоднородности матрицы водоносного горизонта, характеристики такого важного параметра как пористость приходилось определять, основываясь на результатах приближенной оценки. При этом было очевидно, что даже по результатам оценок, основанных на самых оптимистических предположениях, определяемые с учётом времени пребывания показатели питания грунтового горизонта достигали в лучшем случае 10% от наблюдаемых в ходе исследований, проведенных ранее. Более того, большой разброс значений параметров изотопных и гидрохимических исследований, полученный при вскрытии зоны разлома, позволяет поставить под сомнение концепцию сплошной региональной зоны дренирования. Внутрискважинные видеонаблюдения продемонстрировали сильно анизотропную природу пористости базальта. Пробы, взятые в одной части исследуемой области, дают соотношения изотопов  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$  (зона А, Рис. 10.1.3), подтверждающие расчётные данные экспоненциальной модели перемешивания (Зубер, 1993).

**Рисунок 10.1.3** *Диаграмма  $^{14}\text{C}$ – $^3\text{H}$ , описывающая характеристики грунтовых вод региона Таибош с помощью кривых экспоненциальной модели и соответствующих значений среднего времени пребывания. А: значения, соответствующие модели; В: «запрещённые» значения*



Везде, где концентрация  $^{14}\text{C}$  >100 pMC при почти нулевых значениях трития, полученные результаты наблюдений помещаются в «запрещённую» зону модели (зона В). Подобная комбинация требует проникновения биогенного  $\text{CO}_2$  в зону насыщения или примыкающие к ней участки, процесс, который может происходить только как перенос через корни фреатофитов.

Высокое содержание нитратов является общей характеристикой грунтовых вод базальтового водоносного горизонта в данном регионе. Предполагаемая глубина выделения  $\text{CO}_2$  из корней растений, различные гидрохимические и изотопные корреляции, например, между Si и  $\text{NO}_3$ , а также между обоими вышеупомянутыми растворёнными веществами и  $^{14}\text{C}$ , свидетельствуют о том, что источниками формирования нитратов являются функциональное разложение (гниение) корней и минерализация азота (Верхаген и Батлер, 2004).

Полученные данные по гидрохимическим и изотопным характеристикам показали, что исследуемый регион является гораздо более сложным с (гидро)геологической точки зрения, чем предполагалось до этого при разработке первоначальной концептуальной модели. Аэромагнитная разведка региона обнаружила ряд особенностей, почти не известных ранее, включая линеаменты, пересекающие участки разломов, которые также могут способствовать частичному разделению базальтового водоносного горизонта (Рис. 10.1.2). С учётом имеющейся информации, была разработана новая программа поисково-разведочного бурения, направленная, в частности, на исследование состава пород, расположенных ниже базальтового пласта.

## Обнаружение новых запасов

В рамках новой программы бурения под базальтом был обнаружен обширный полузамкнутый водоносный пласт песчаника двойной пористости, обеспечивающий высококачественную грунтовую воду, местами с высокой продуктивностью, в отличие от песчаника с плохими характеристиками, выходящего на поверхность на разломах. Значения концентрации радиоактивного изотопа углерода в песчаниковых грунтовых водах составляли до 50 pMC, свидетельствуя о присутствии экономически значимого питания. Уровни стабильных изотопов не продемонстрировали признаков испарения, присутствовавших в базальтовом горизонте, свидетельствуя о том, что питание грунтового горизонта песчаника происходит, главным образом, путём инфильтрации воды, стекающей с гор, в почвы каменистых склонов на юге региона. Обширные участки кальцикритов вдоль западной части зоны разлома указывают на местонахождение области выхода грунтовых вод, что подтверждается низкими значениями концентрации радиоактивного изотопа углерода (большой возраст запасов воды) и более отрицательным показателем стабильных изотопов. Таким образом, представляется разумным предположить, что в пласте песчаника обнаружены значительные потенциально устойчивые запасы грунтовых вод; причём перекрывающий базальтовый пласт, до сих пор бывший целевым объектом исследования, содержит лишь часть указанных запасов. Разработку обнаруженных ресурсов следует производить крайне осторожно; возможно, это должна быть совмещенная разработка обоих водоносных пластов, осуществляемая на основе данных изотопного, химического и гидрогеологического мониторинга.



## Выводы

Исследование окружающей среды с использованием изотопов и гидрохимические исследования продемонстрировали, что неглубоко залегающий базальтовый водоносный пласт, который являлся практически единственным объектом исследования с целью изучения возможности разработки местных запасов, характеризуется ограниченной устойчивостью и не постоянством качества воды, а также является легко уязвимым при изменении характера землепользования. С учётом вышеуказанного, было принято решение о продолжении поисково-разведочных работ.

В результате дальнейших работ был открыт высокопродуктивный водоносный пласт песчаника, содержащий высококачественную грунтовую воду. Этот водоносный пласт постоянно восполняется и активно подпитывается, главным образом, за счет просачивания воды через почвы каменистых склонов гор на юге региона. Эти характеристики делают рассматриваемый пласт песчаника самым подходящим региональным источником водоснабжения в чрезвычайных ситуациях. Вместе с тем, его разработка должна производиться с особой тщательностью и осторожностью, чтобы ограничить проникновение грунтовой воды более низкого качества из залегающего выше пласта базальта и, таким образом, предотвратить возможность загрязнения в будущем. Не очень давно наблюдалась чрезвычайная ситуация, когда над близлежащим городом нависла угроза тяжёлого дефицита водоснабжения по причине роста населения и длительной засухи. Во вновь обнаруженном водоносном пласте песчаника были пробурены несколько экспериментальных скважин для обеспечения временного водоснабжения.

## Литература

Verhagen, B. Th.; Butler, M.J.; van Wyk, E. and Levin, M. 2003. Environmental isotope studies as part of a rural ground water supply development: Taaibosch area, Limpopo Province, South Africa. TecDoc, IAEA (inprint).

Verhagen, B. Th. and Butler, M.J. 2004. Isotopes and chemistry suggest natural processes for high nitrate in groundwater. Proceedings, WISA Conference, Cape Town, 2– 6 May 2004.

Zuber, A. 1993. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. In: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 2, Part B. (Fritz, P. and Fontes, J. Ch., Eds.), Elsevier, Amsterdam. 1–59.

## 10.2 Разработка системы раннего предупреждения о чрезвычайных ситуациях, связанных с процессами инфильтрации на берегах рек

К.-П. Зейлер

Национальный исследовательский центр здоровья и окружающей среды (GSF),  
Германия

Традиционные методы мониторинга подземных вод уделяют основное внимание анализу качества воды в эксплуатационных скважинах. Если содержание любого из химических компонентов в скважине для отбора подземных вод превышает установленные пороговые значения, предпринимаются дополнительные профилактические меры, в том числе, различные мероприятия по восстановлению качества или очистке воды в условиях *in situ/ex situ*, или эксплуатация скважины прекращается. Вместо мониторинга проникновения загрязнителей, можно также установить контроль за гидравлическими изменениями между областью питания и областью бурения с помощью неактивных индикаторов окружающей среды, что обеспечивает постоянное повышение точности используемых математических прогностических моделей для получения максимально достоверных прогнозов.

Любая разработка вызывает нарушение естественного гидравлического равновесия. Основные гидравлические данные, в основном, представляют собой скорее результаты отдельных измерений, чем данные, интегрированные по времени и пространству. Соответственно, все математические модели, используемые для прогнозирования гидравлических изменений, имеют некоторые неточно определенные величины. Указанные неточности можно устранить посредством корректировки используемой математической модели с учётом данных, интегрированных по времени и пространству, сбор которых ведётся по результатам анализа индикаторов окружающей среды. Таким образом, предполагается, что в рамках мониторинга загрязнителей следует также проводить анализы на содержание в подземных водах неактивных микроэлементов окружающей среды, что способствует улучшению оценки гидравлических изменений, времени задержки и растворения загрязняющих веществ на пути движения воды от области питания к области бурения. Для достижения этой цели результаты анализов повторного мониторинга индикаторов окружающей среды используются для постоянной корректировки числовых моделей с целью получения более достоверных прогнозов гидравлических изменений и поведения загрязнителей на пути движения воды от области питания к эксплуатируемой скважине. Это является основой тех изменений, которые предлагается внести в методы управления качеством подземных вод с целью гарантирования безопасного водоснабжения и предотвращения проникновения загрязнителей в водоносные пласты, которые в естественных условиях надёжно защищены, как, например, глубоко залегающие подземные воды.

Существует два основных метода мониторинга подземных вод с использованием естественных индикаторов:

- Мониторинг с берега реки, который расположен параллельно линиям потока; таким образом, рассеивание шлейфа направлено вдоль линий потока от источника до стока. Этот шлейф определяет среднее время прохождения расстояния и разбавление.
- Естественный мониторинг или мониторинг с использованием естественных индикаторов, путем наблюдения пополнения грунтовых вод, которое является перпендикулярным потенциальным линиям и таким образом создает горизонтальную стратификацию индикаторов в системах водоносных пластов. Любое изменение в направлении потока подземных вод, вызванное добычей подземных вод в неравновесии с естественным полем потока, постепенно нарушает эту горизонтальную стратификацию; это явление регистрируется с помощью индикаторов и используется для внесения изменений в расчетные модели.

Использование  $^3\text{H}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $\text{Cl}$  или границы соленой/пресной воды в качестве индикаторов состояния окружающей среды играет важную роль в разработке системы раннего оповещения; это позволяет своевременно предсказать возможность поступления загрязняющего вещества в любой эксплуатационный участок. Такие системы раннего оповещения были разработаны для контроля добычи глубоких подземных вод (Гергут и др., 2001), а также контроля инфильтрации берегов рек, этот процесс будет рассмотрен далее.

Разность в показателях пьезометрического напора в реке и подземных водах показывает, что либо речная вода просачивается в подземные воды (инфильтрация берега реки), либо подземные воды проникают в поверхностные воды (Рис.10.2.1); оба эти процесса называются просачиванием.

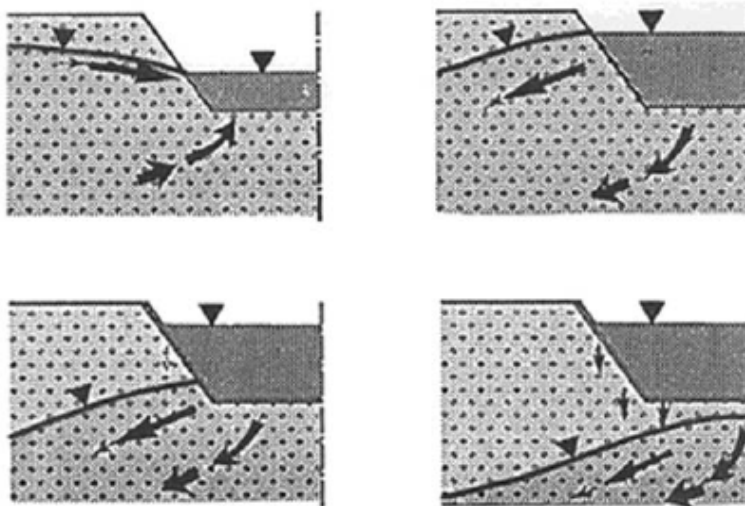
Для любого использования процесса инфильтрации берега реки в целях снабжения водой необходимо, чтобы минимальная толщина водоносного пласта составляла 5 м в гравийной почве и превышала это значение в песчаных породах, что позволяет получить высокий уровень водоотдачи с умеренным понижением уровня

воды в пласте. Поэтому большинство инфильтрационных установок прибрежной зоны размещено в крупных долинах с грубозернистыми долинными отложениями четвертичного периода.

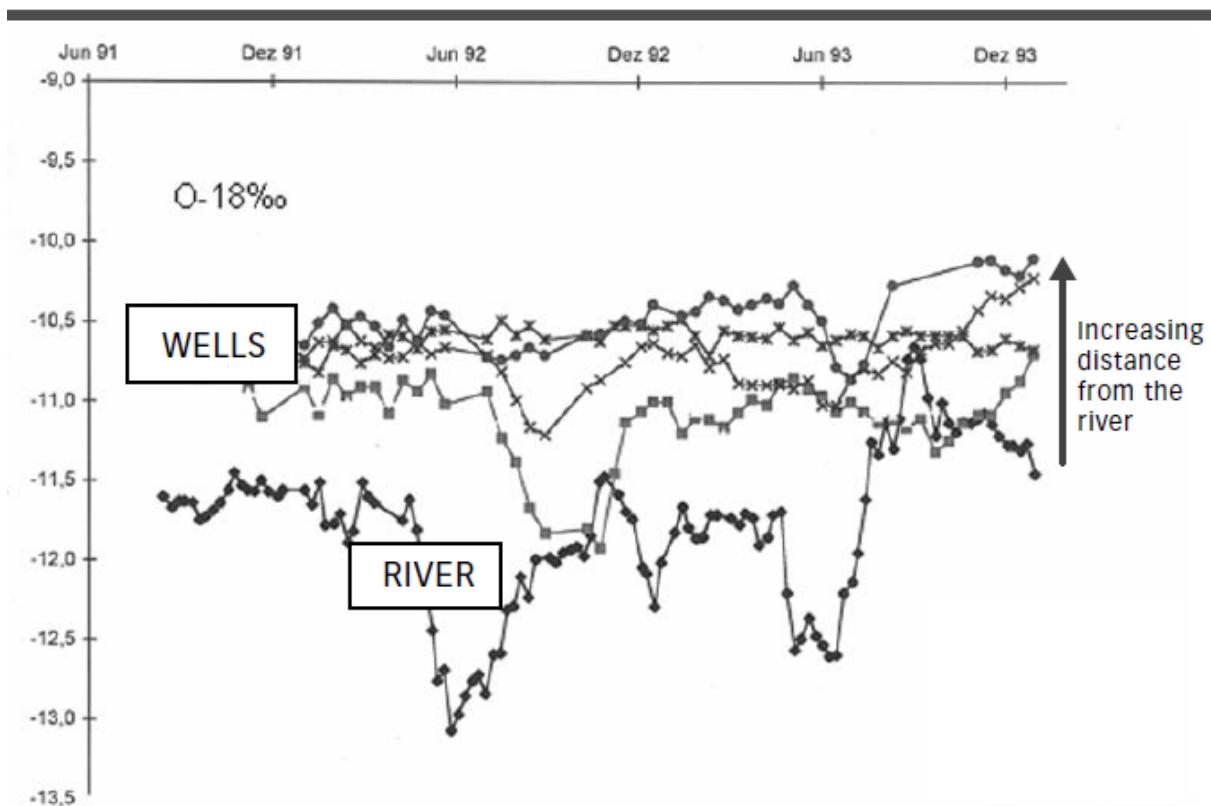
Применение методов анализа с использованием естественных изотопов при оценке принудительной инфильтрации берега реки основано на следующих показателях:

- Затухание и сдвиг фаз переменного сигнала изотопа с течением времени в реке по сравнению с сигналом в наблюдательной скважине (Рис.10.2.2), эти данные позволяют определить скорость потока или среднее время движения изотопа от реки до любой наблюдательной скважины.
- Средняя концентрация изотопа в реке, местных подземных водах и смеси речных и подземных вод, соответственно (Рис. 10.2.3), эти данные используются для определения величины разбавления и количества поступающей речной воды.

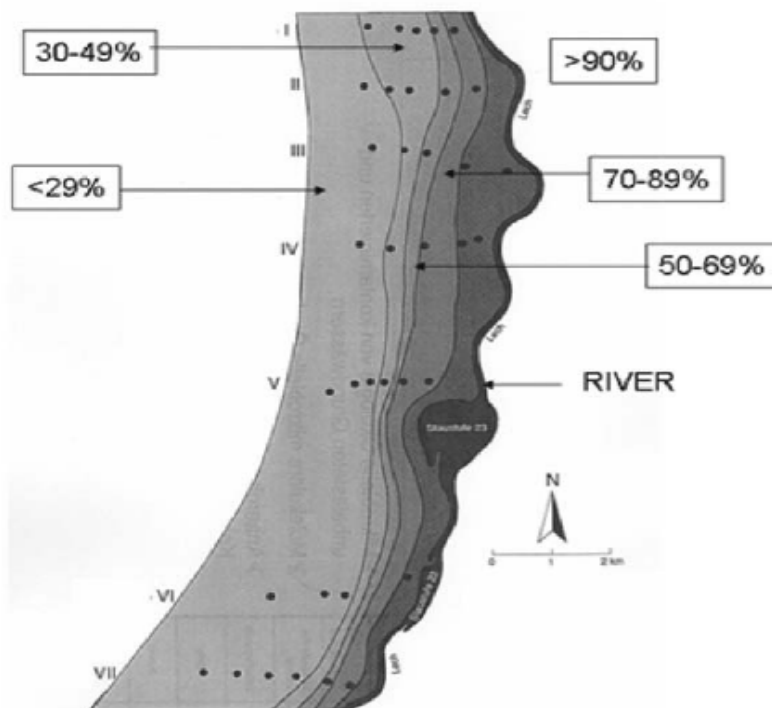
**Рисунок 10.2.1** *Инфильтрация на берегах рек в условиях нормального просачивания, обводнения и принудительной фильтрации, а также в верховьях рек без непосредственного контакта с подземными водами*



**Рисунок 10.2.2**  *$\delta^{18}\text{O}$  в речной воде и соответствующий уровень  $\delta^{18}\text{O}$  в близлежащих подземных водах; снижение значений  $\delta^{18}\text{O}$  обусловлено таянием снега в летний период*



**Рисунок 10.2.3** Процентные соотношения речной воды, поступающей в подземные воды, в естественных условиях (южная часть) и в условиях искусственной инфильтрации (северная часть)



Определение среднего времени движения и разбавления воды на пути от реки до места отбора подземной воды осуществляется на основании изменений уровней изотопов, оцениваемых в рамках моделей сосредоточенных параметров, разработанных Маложевским и Зубером (1996).

$$C_{\text{выход}} = C_{\text{вход}} g(t')$$

Уровень смешивания речной воды и подземных вод рассчитывается с помощью уравнения смешивания:

$$(CQ)_{\text{речная}} + (CQ)_{\text{подземные воды}} = C_{\text{смеш. воды}} (C_{\text{речн.}} + Q_{\text{подземн.}})$$

где  $C$  – концентрация изотопа, и  $Q$  – скорость потока.

После корректировки суммарных значений модели сосредоточенных параметров путём определения функции  $g(t')$ , модель можно использовать для установления пороговой входной концентрации изотопов в воде, смешиваемой с речной водой ( $C_{\text{вх.}}$ , пороговая), которая разбавляет загрязнители, содержащиеся в речной воде, до максимальной допустимой концентрации в скважине для отбора ( $C_{\text{вых.}}$ , допустимая) в соответствии с санитарными нормами ВОЗ (1996). Так как поток воды от реки до добывающей скважины проходит через фазы разбавления и задержки, время которых зависит от скорости отбора, в чрезвычайных ситуациях (наводнения, аварии) имеется достаточное время для уменьшения объемов или прекращения добычи подземных вод во избежание нанесения ущерба здоровью или жизни населения.

## Литература

Ghergut, I., Maloszewski, P., Seiler, K.-P. 2001. Age, environmental isotope, and contaminant transport uncoupling in heterogeneous aquifers following hydraulic stress. In: New Approaches Characterizing Groundwater Flow, Vol. 1 (Eds.: Seiler K.-P. and Wöhnlich S.), 327–334, (Balkema) Lisse, Abingdon, Exton, Tokyo.

Maloszewski, P. and Zuber, A. 1996. Lumped parameter models for interpretation of environmental tracer data. Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrogeology, 9–58, (IAEA) Vienna.

WHO 1996. Guidelines for drinking water quality. Health criteria and other supporting information. Vol. 2, 973 p., (World Health Organisation) Geneva.



## 10.3 Чрезвычайные ситуации в дельтах рек: Нидерланды

Вим ван дер Линден

### Международный центр исследования грунтовых вод, Нидерланды

Чрезвычайные ситуации в дельтах рек могут привести к временной недоступности или отсутствию пополнения запасов подземных вод. В Нидерландах фактически нет неисследованных запасов подземных вод. Пресные грунтовые воды находятся на относительно малой глубине, в то время как пласты минерализованной воды залегают под ними.

Водоснабжение за счет подземных вод в случае чрезвычайных ситуаций может быть организовано только в тех случаях, когда ресурсы подземных вод не используются или при наличии разрешения на добычу воды сверх предусмотренных норм из (близлежащих) ресурсов при условии предотвращения минерализации водоносных горизонтов и обеспечения дальнейшего пополнения подземных вод. Ситуация в Нидерландах является хорошим примером использования подземных вод в дельтах рек.

### Грунтовые воды в Нидерландах

В Нидерландах подземные воды для снабжения питьевой воды главным образом добываются из преимущественно песчаных отложений в дюнах, в высоко залегающих плейстоценовых и плейстоценовых/голоценовых пластах на востоке страны и из залежей на берегах рек. Данные по доступным объемам пресных подземных вод, составляющих примерно 2 миллиарда кубометров в год, были получены на основе деления Нидерландов на гидрологические единицы (Рисунок 10.3.1). Суммарная фактическая величина пополнения или компенсации просачивания подземных вод в водоносных горизонтах всей страны оценивается примерно в 2,6 миллиарда кубометров в год (Дуфор, 2000).

**Рисунок 10.3.1** *Расчётный объём пресных подземных вод в Нидерландах на регион в год (Источник: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1985)*



В 2003 году 61% потребности в питьевой воде в Нидерландах, или 0,98 миллиарда кубометров (Ministerie van VROM, 2004) было обеспечено за счет подземных вод, включая просачивающиеся поверхностные воды в прибрежных зонах; остальной объем был получен из поверхностных вод – главным образом из рек Маас и Рейн. Объемы использования подземных вод в промышленных или сельскохозяйственных целях достоверно не известны по причине отсутствия тщательного контроля и обязательной государственной регистрации случаев потребления этих вод сельскохозяйственными и частными предприятиями.

Дуфор (2000) оценил общее потребление подземных вод в промышленных и сельскохозяйственных целях на уровне примерно 0,5 и 0,3 миллиарда кубометров, соответственно. Цифры показывают, что уровень общей добычи в размере 1,8 миллиарда кубометров не намного ниже, чем расчетные данные общего доступного объема пресных подземных вод.

В засушливый год добыча подземных вод компаниями по водоснабжению и сельскохозяйственным сектором возрастет и может достичь уровня доступного объема или превысить его. Возникнут проблемы, связанные с избыточной добычей воды, особенно в такие сухие летние периоды с относительно большим дефицитом осадков, что может привести к локальному снижению уровня грунтовых вод и напора, усиливая негативные последствия добычи подземных вод на заповедных территориях с болотистыми биотопами (Дуфор, 2000). Однако, возобновление уровня подземных вод происходит быстро и, как правило, объемы и уровни подземных вод восстанавливаются благодаря восполнению в зимний период.

### Чрезвычайные ситуации

В Нидерландах чрезвычайные ситуации, при которых водоснабжение из источников подземных вод может быть затруднено или прервано, могут быть обусловлены наводнениями, засушливыми периодами или загрязнениями воды:

- Сотни лет назад наводнения в результате повреждения речных или морских дамб были распространенным явлением в областях, расположенных на низменности, но в последнее время это стало редкостью. Последние обширные затопления морской водой произошли в Нидерландах в 1944 году, когда во время войны велась бомбардировка дамб, и в 1953, когда дамбы обрушились во время сильного шторма. В целом, во время наводнений ресурсы грунтовых вод затрагиваются незначительно или не затрагиваются совсем, поскольку запасы пресных подземных вод, используемых для водоснабжения, находятся на более возвышенных территориях (например, в дюнах), которые не подвергаются затоплению. Эти ресурсы становятся более или менее доступными вскоре после спада паводка. Снабжение пресной воды во время наводнений нарушается преимущественно по причине повреждений инфраструктуры водоснабжения.
- Засухи бывают в летние периоды при большом дефиците осадков. Добыча подземных вод из глубокозалегающих напорных водоносных горизонтов, как правило, не нарушается в таких ситуациях и может быть продолжена, но добыча подземных вод из неглубоких безнапорных водоносных горизонтов может быть вынуждено сокращена (Рисунок 10.3.2). Добыча для сельскохозяйственных нужд, также главным образом из неглубоко залегающих ресурсов, зачастую должна быть уменьшена или приостановлена в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды. Это приведет к снижению объема сельскохозяйственного производства по причине отсутствия воды для орошения на протяжении тех месяцев, когда потребность в воде наиболее высока.
- Маловодность рек во время засушливых периодов или загрязнение поверхностных вод может вынудить компании по водоснабжению к приостановлению потребления поверхностных вод, используемых для орошения (к примеру, компания Амстердам Уотер Саплай использует воду, откачиваемую из Рейна, для орошения дюн). Однако, уровень запасов доступных грунтовых вод в целом достаточен для того, чтобы обойтись без инфильтрации на протяжении периода длительностью как минимум двух месяцев.

**Рисунок 10.3.2** Расположение мест добычи подземных вод для коммунального водоснабжения в Нидерландах, классифицированных по типам добычи (Источник: RIVM, 1992)



- Загрязнение подземных вод промышленными сточными водами может сделать запасы подземных вод непригодными для водоснабжения. Возможный риск сводится к минимуму благодаря мерам предосторожности, принимаемым в процессе добычи подземных вод, и объявлению этих мест охранными зонами, где запрещается любая деятельность, ведущая к загрязнению.
- Загрязнение подземных вод в результате больших катастроф, таких, как аварии на ядерном объекте, требует иного подхода. Государственный план ликвидации ядерных аварий (Ministerie van VROM, 2002) описывает действия, которые должны быть предприняты для защиты и восстановления водных ресурсов. В целом не предполагается непосредственное заражение запасов подземных вод, но риск просачивания радиоактивных веществ требует принятия особых мер по мониторингу и контролю неглубоко залегающих подземных вод. Скорее возможно загрязнение поверхностных вод, и процесс выкачивания подземных вод с просочившимися береговыми водами, возможно, придется временно приостановить.

## Меры

Типы возможных чрезвычайных ситуаций в Нидерландах не требуют поиска новых дополнительных ресурсов. Большинство чрезвычайных ситуаций длятся не более чем несколько месяцев, и либо запасы грунтовых вод имеют достаточный объем для продолжения добычи, либо водоснабжение может быть налажено за счет неиспользуемых или недостаточно используемых ресурсов близлежащих областей. На случай больших катастроф, таких, как ядерные аварии, подготовлены планы мероприятий по контролю и устранению заражения. Эти мероприятия планируются преимущественно для поверхностных вод и систем водоснабжения, и в меньшей степени предусматриваются для защиты подземных вод.

Некоторые компании по водоснабжению располагают аварийным оборудованием для использования в чрезвычайных ситуациях. К примеру, в Гааге имеются аварийные скважины для использования в случаях, когда обычная система подачи воды перестает функционировать. Задействуются скважины, сооруженные для добычи подземных вод в пригородной зоне, которые при нормальных условиях не используются для получения питьевой воды. Это может решить проблемы с водоснабжением, но качество воды вызывает озабоченность, поскольку, как и в других городах, загрязнение подземных вод наблюдается на многих участках.

Модели поведения подземных вод являются эффективным инструментом в чрезвычайных ситуациях для оценки влияния повышенного уровня добычи подземных вод на условия в подземных горизонтах или перенос загрязняющих веществ. Региональное воздействие на потоки подземных вод можно оценить при

помощи национальной модели грунтовых вод, разработанной RISA (Институт по рациональному использованию внутренних вод и очистке сточных вод) или региональных моделей, разработанных TNO (Институт прикладных наук о Земле Нидерландов – Геологическая Служба), или при помощи других моделей. Локальные последствия, например, вокруг насосных станций, можно оценить с помощью моделей подземных вод, используемых компаниями по водоснабжению

## **Стратегические запасы грунтовых вод**

В 1988 году национальное правительство внесло на рассмотрение концепцию стратегических водных ресурсов, в связи с этим Энгеленом (1990) было проведено исследование, целью которого было изучение доступности стратегических ресурсов подземных вод. Исследование привело к заключению, что подобная концепция может быть разработана только при комплексном подходе к требованиям (коммунального) водоснабжения, ландшафтного планирования и условий окружающей среды. Ресурсы подземных вод, резервированные для стратегических целей, не идентифицировались в этом исследовании, но были даны рекомендации сохранить запасы глубоко залегающих подземных вод, увеличив использование поверхностных вод, и усовершенствовать административные, правовые и финансовые инструменты для улучшения организации стратегического использования водных ресурсов. Рекомендации исследования не были выполнены властями по причине возражений, исходивших от пользователей подземных вод, и в настоящее время только поверхностные воды Эйсселмера в центре страны признаны в качестве стратегического водного резерва.

## **Выводы**

Поиск дополнительных источников подземных вод в Нидерландах не предполагает исследований неразведанных водоносных горизонтов, поскольку таких водоносных пластов не существует. Доступные запасы пресных подземных вод известны, и более глубокое бурение скважин не обеспечит больших объемов пресной воды, так как ниже глубины 50 метров на западе и до 300 метров на востоке страны залегают минерализованные подземные воды. Имеются достаточные объемы неэксплуатируемых подземных вод для покрытия потребности в недостатке воды в течение относительно коротких периодов времени, вызванных дефицитом пополнения водоносных пластов или проблемами с загрязнением. Также в наличии имеются соответствующие транспортные средства для обеспечения областей, оставшихся без снабжения питьевой водой за счет ресурсов близлежащих районов. При самом неблагоприятном развитии событий может быть организована доставка питьевой воды в цистернах или приняты другие временные меры.

## **Список литературы**

Dufour, F.C. 2000. *Groundwater in the Netherlands*, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO – Geological Survey, Delft/Utrecht.

Engelen, G.B. 1990. *Strategische watervoorraden in Nederland*, Dienst Grondwaterverkenning TNO, OS 90-62-A (in Dutch).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 1985. *De waterhuishouding van Nederland (tweede Nota Waterhuishouding)*, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM. 2002. *Meetstrategie drinkwater bij kernongevallen*, 's-Gravenhage. Ministerie van VROM. 2004. *The quality of drinking water in the Netherlands in 2003/De kwaliteit van het drinkwater in Nederland in 2003*, 's-Gravenhage.

RIVM. 1992. *Effecten op natuur van grondwaterwinning ten behoeve van Beleidsplan drink- en industriewatervoorziening en MER*, RIVM rapport nr. 714305010, Bilthoven.

## **10.4. Управление рисками ресурсов подземных вод во время землетрясения в Бхудже (26 января 2001 года)**

**Д.К. Чадха**  
**Методы Решения Глобальных Гидрогеологических Проблем, Индия**

**А.К.Синха**  
**Центральный Совет Управления Ресурсами Подземных Вод, Индия**

**Р.С. Джайн**  
**Центральный Совет Управления Ресурсами Подземных Вод, Индия**

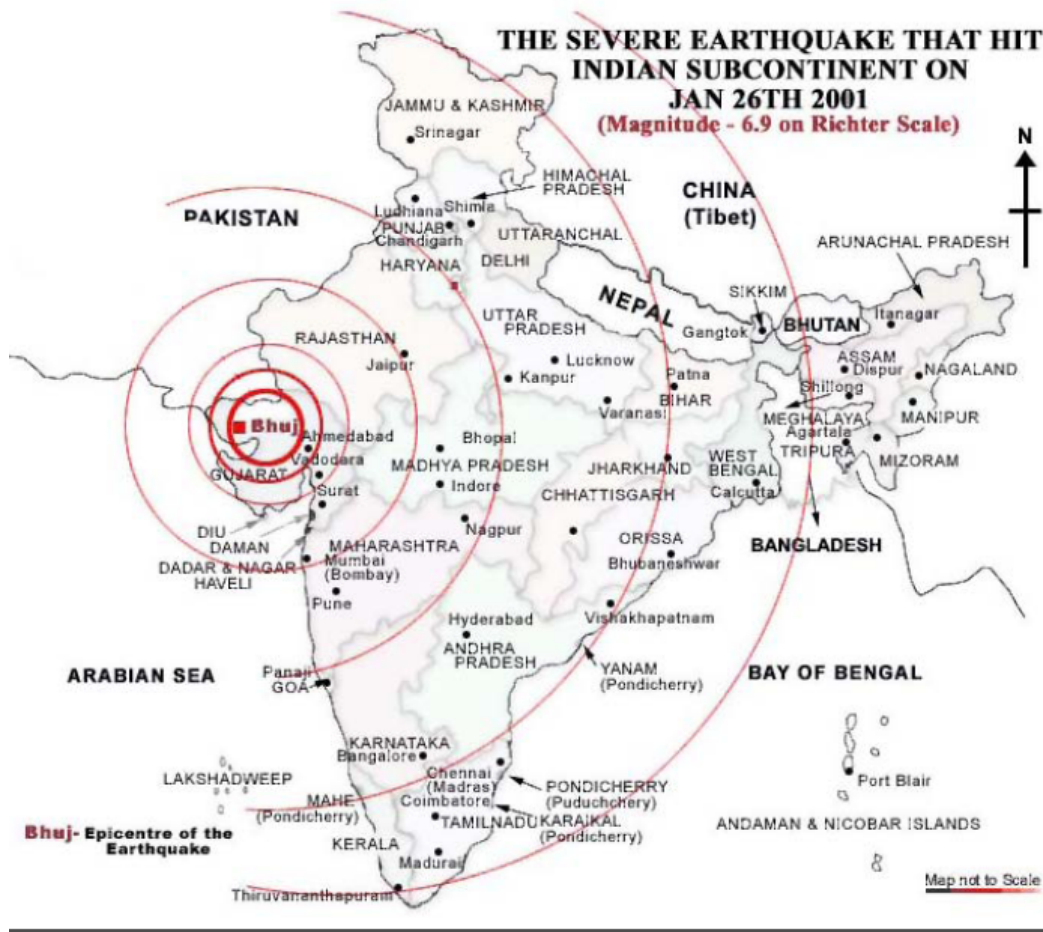
### **Введение**

26 января 2001 года на Индийском континенте произошло землетрясение силой 6,9 балла по шкале Рихтера согласно данным Департамента Метеорологии Индии, и силой 7,9 балла по оценке геологической службы США, с эпицентром к северо-востоку от города Бхудж недалеко от Амрасара (23° 4' северной широты и 70° 28' восточной долготы) в районе Кутч штата Гуджарат. Последствия этого землетрясения наблюдались во многих частях страны (Рисунок 10.4.1). Район Кутч характеризуется в основном засушливым климатом и крайне высокими температурами, достигающими 50° С, сопровождающимися большими потерями влаги в результате испарения. Дождевые осадки непрогнозируемы и составляют в среднем 350 мм в год. Область характеризуется как подверженная засухам, потребности в питьевой воде удовлетворяются в основном за счет ресурсов подземных вод, а накопленные в цистернах и прудах запасы дождевой воды используются для всех бытовых нужд. С геологической точки зрения область представлена породами как морских, так и пресноводных формаций, возраст которых колеблется от Юрского периода до современной геологической эпохи. Рельефные породы представлены крупно-зернистыми песчаниками (от среднего до нижнего мела), Деканскими траппами (от верхнего мела до эоценовых базальтов) и песчаниками нижнего третичного периода. На территории имеется ряд разломов, смещающих различные формации. Подземные воды в этой области в основном минерализованные и слабоминерализованные почти во всех геологических формациях за исключением мезозойских песчаников в районах Бхуджа и Канкота и третичной формации Манчара. Кутч расположен в сейсмически активной зоне V и пережил несколько землетрясений различной силы. При таких условиях окружающей среды эта область требует особого научного подхода при планировании ее развития, в том числе проведения разведки пресных подземных вод, необходимых для устойчивого развития этого района.

Землетрясение 2001 года разрушило всю старую часть города и большую часть многоэтажных зданий в городе Бхудж, а города Анджар, Адхой, Бхачау, Чаубари, Дудхай, Кабрай, Рапар, Ратнал были почти полностью разрушены. Ранее в этой области произошло несколько землетрясений силой от 4 до 8 баллов по шкале Рихтера. Землетрясение «Бунд Аллаха» 1819 года было очень разрушительным и привело к образованию значительной палео-сейсмической структуры, известной как «Плотина Аллаха» и разрушило берега реки Нара, притока Инда, воды которой затопили область (Рисунок 10.4.2.). В последующие годы было зарегистрировано несколько землетрясений, наиболее известные из них – Анджарские землетрясения 1940, 1956 и 1991 годов и землетрясение в Бхудже в 1996 году.



Рисунок 10.4.1. Эпицентр и области, пострадавшие от землетрясения



## Последствия землетрясений

### (а) Выход подземных вод на поверхность

Максимальное воздействие землетрясения наблюдалось в области Бани, где образовался ряд разломов. Просачивание подземных вод наблюдалось в определенных местах даже спустя 20-25 дней. Это происходило, к примеру, неподалеку от Индийского моста к северу от острова Патчам (Рис. 10.4.3), поблизости от Дхарампура и Умедпура в районе Бани. Подземные воды выходили на поверхность через большие кратеры, образовавшиеся вдоль разломов. В нескольких других разломах наблюдались множественные микро-кратонные отверстия. Это имело место на четвертичной формации Бани, расположенной между материковой частью страны и северными островами.

Рисунок 10.4.2 Измененная геоморфология области Кutch после землетрясения 1819 года

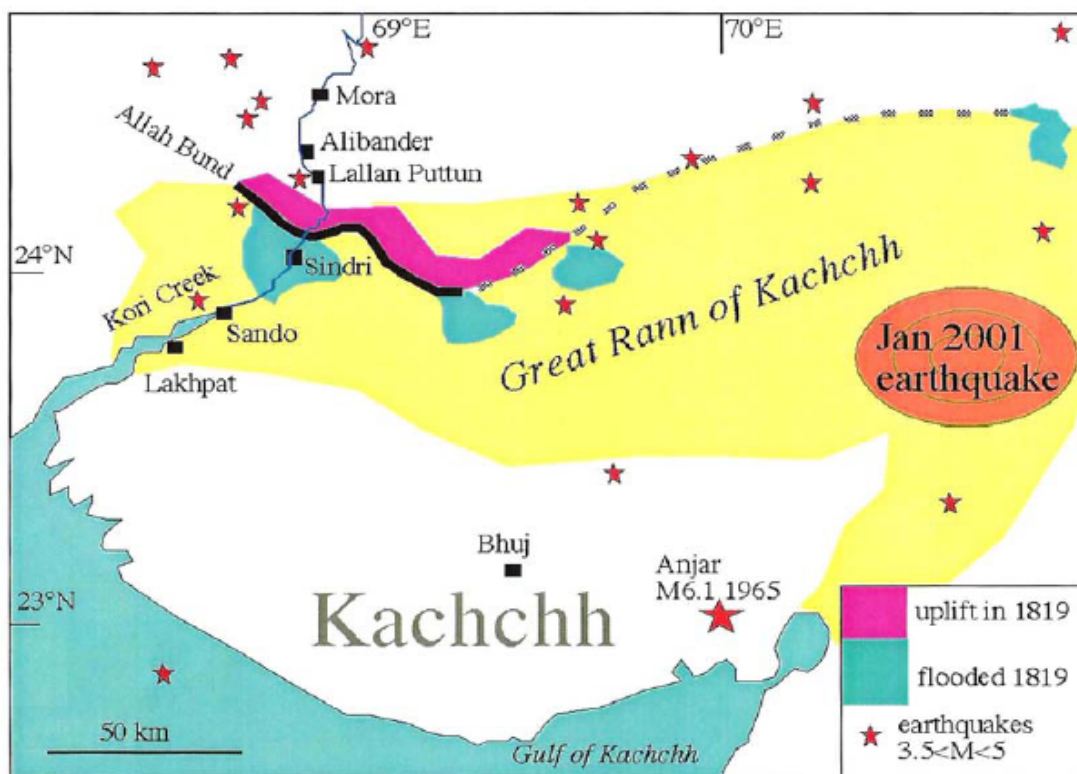


Рисунок 10.4.3 Выход на поверхность окрашенных подземных вод через кратеры, отверстия и разломы неподалеку от Индийского моста.



В 2 км к западу от Амрасара в округе Бхачау очень заметен ряд эллиптических разломов (площадью 75 м в ширину и 125 м в длину) со смещением в 2-3 сантиметра в последующих внутренних разломах. Похожие большие разломы были обнаружены в 8 км к западу от деревни Чаубари.

Выход подземных вод на поверхность через небольшие округлые или эллиптической формы отверстия был зарегистрирован в нескольких местах (Рис. 10.4.4.). В буровых и трубчатых скважинах повреждений обнаружено не было, однако в некоторых случаях там, где применялись цементные конструкции, обнаруживалось, что они были смещены. Линии водоснабжения были повреждены и разорваны в некоторых местах, кроме того, были повреждены линии электропередач и насосные станции.

**Рисунок 10.4.4 Просачивание подземных вод через ряд округлых эллиптических отверстий**



**(б) Подъем/падение уровня грунтовых вод.**

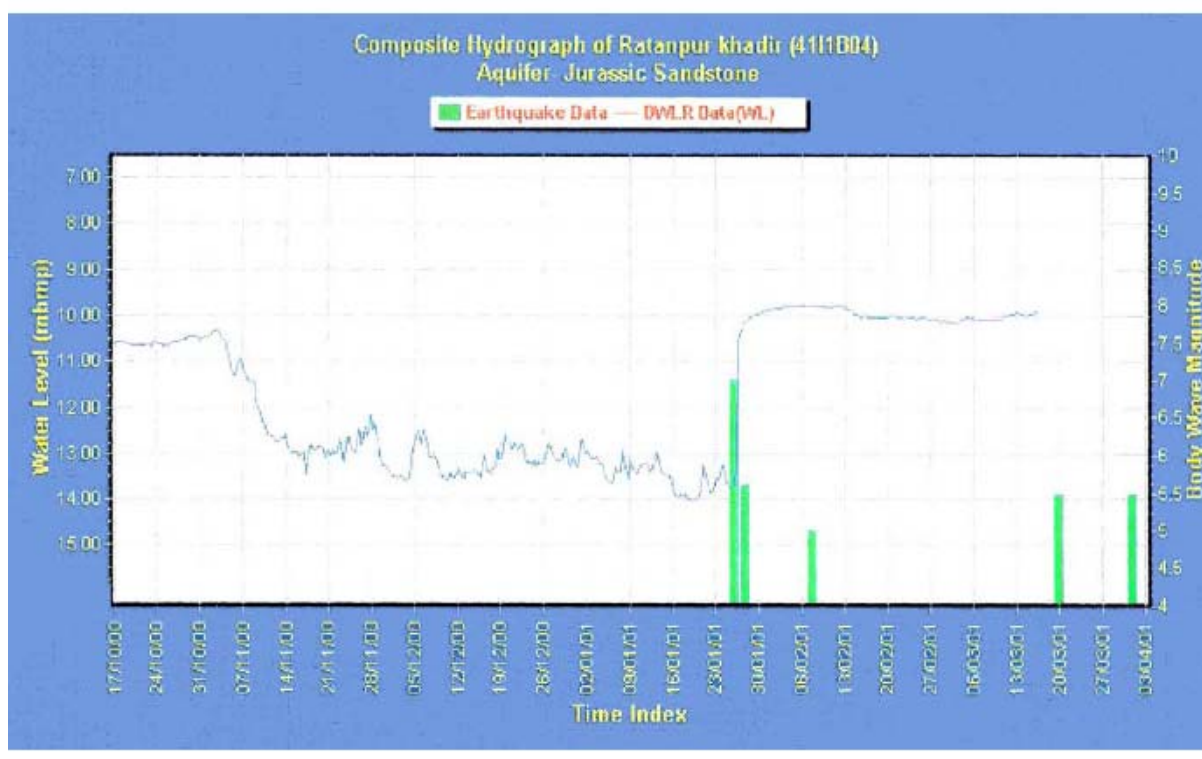
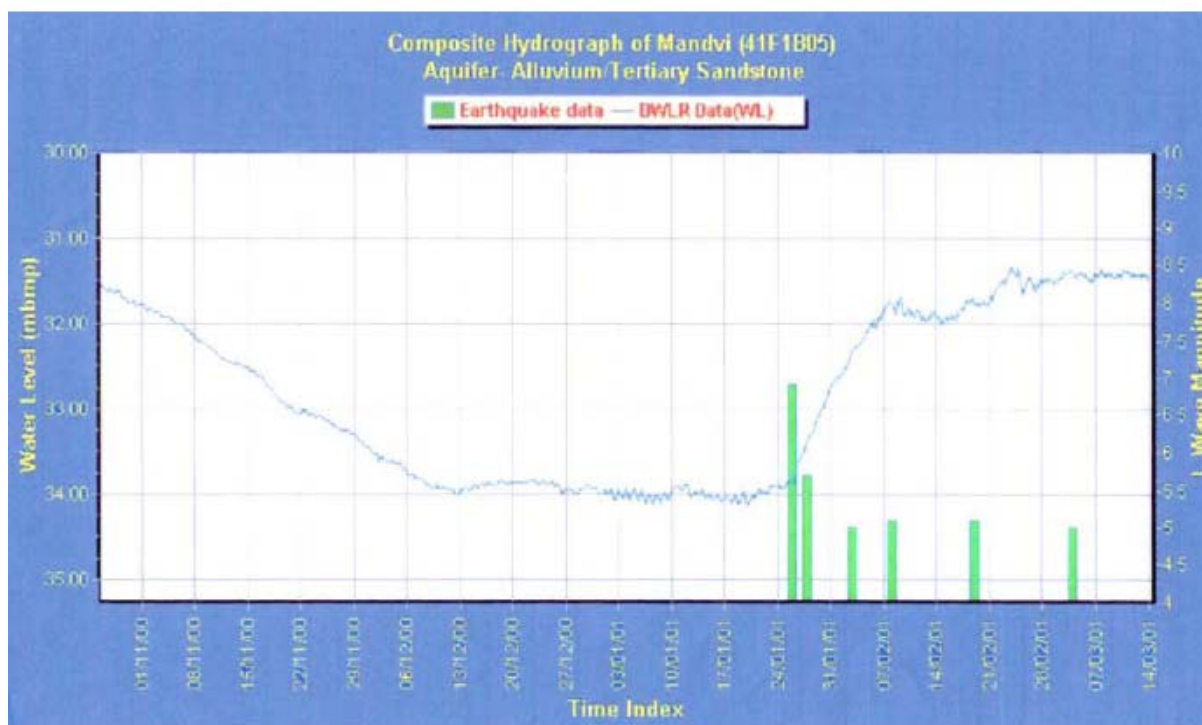
Цифровые датчики, фиксирующие уровень грунтовых вод, были помещены в пьезометрические трубки для постоянной регистрации нормальных колебаний уровня грунтовых вод с 6-часовым интервалом. Цифровые датчики зарегистрировали подъем/падение уровня грунтовых вод до, во время и после землетрясения. Показатели двух из таких датчиков приведены на рисунках 10.4.5 и 10.4.6

**(в) Изменение качества подземных вод**

Вода, извергавшаяся на поверхность из кратеров и разломов на равнинах Ранн и Бани была высоко минерализованной. Однако никаких значительных изменений качества воды в образцах из шахтных колодцев и трубчатых скважин, расположенных в различных геологических формациях, обнаружено не было.



Рисунки 10.4.5 и 10.4.6. Влияние землетрясения на уровень подземных вод



### Обнаружение и разработка новых водоносных пластов

В целях разведывания новых водоносных систем, резервы которых могут быть использованы для возобновления водоснабжения, было предпринято широкомасштабное бурение и проведены химические анализы отобранных образцов воды. Область была изучена с применением методов дистанционного

зондирования, геологического картирования и детальной геофизической съемки местности для определения участков бурения трубчатых скважин.

Для быстрого восстановления водоснабжения 9 буровых установок для роторного/ реверсно-роторного бурения были доставлены в экстренном порядке в район Кутч для сооружения трубчатых колодцев. Сооружение колодцев было приурочено в основном к областям, подстилаемым меловыми (мезозойскими) песчаниками Бхуджа. В целом, качество воды в данном водоносном горизонте было хорошим до глубины 150-170 м, но на большей глубине вода была минерализованной. Общее число пробуренных трубчатых колодцев равнялось 55, их глубина составляла от 70 до 156 м. Только 45 трубчатых колодцев были оснащены, поскольку в других качество воды не соответствовало установленным требованиям или дебит был недостаточным. Таким образом, на начальном этапе была достигнута возможность заливать в цистерны для последующей доставки населению 20 000 м<sup>3</sup> воды ежедневно. В дальнейшем поврежденные трубчатые колодцы были реконструированы и водоснабжение восстановлено.

## Выводы

Опустошительное землетрясение 26 января 2001 года полностью разрушило город Бхудж и 800 деревень, расположенных рядом. Была полностью нарушена вся система водоснабжения. Для спасательных операций в целях обеспечения населения питьевой водой были использованы 9 установок для глубокого бурения, были пробурены 55 трубчатых скважин, из которых 45 были оснащены и обеспечили общий дебит на уровне 20 000 м<sup>3</sup> воды в день. Эти меры дали возможность временно обеспечивать население водой в тот период, который потребовался на восстановление всей системы водоснабжения. Быстрые и хорошо спланированные действия подтвердили важную роль подземных вод при чрезвычайных ситуациях.

## Литература

- Jain, R.C. 2003. *Hydrologic effects of the Bhuj earthquake of January 26, 2001, Gujarat, India*. Proceedings of International Workshop on earth processes related to Gujarat earthquake, IIT, Kanpur, India (January 2003).
- Karan, R.V. 2003. *Structure and Tectonic framework on Kutch Gujarat of January 26, 2001, Gujarat, India*.
- Proceedings of International Workshop on earth system processes related to Gujarat earthquake, IIT, Kanpur, India (January 2003).
- Mohanty, K.K., et al. 2003. *Seismo- tectonic and hazard zonation study of Kutch, Gujarat, India*. Proceedings of International Workshop on earth system processes related to Gujarat earthquake held at IIT, Kanpur, India (January 2003).



# **10.5 Воздействие цунами 26 декабря 2004 года на подземные воды побережья Индии и стратегия экстренных действий по ликвидации последствий**

**Ашок К. Кешари**  
**Департамент гражданского строительства, I.I.T. Дели, Индия**  
**АЛ. Раманатан**  
**Высшая Школа Экологии, J.N.U., Индия**  
**Б.Нойпан**  
**ЮНЕСКО**

## **Введение**

Цунами представляет собой волну, обладающую большой энергией, которая образуется в результате землетрясения или оползня в море. Длина волн цунами и интервал между их появлением зависят от механизмов возникновения и силы породивших их событий. Интервал между появлением волн может составлять от 5 до 90 минут. Длина гребня волны может превышать тысячу километров, а расстояние между волнами может составлять от нескольких до более чем ста километров во время их движения в открытом океане. Скорость волн цунами возрастает с глубиной моря и может достигать свыше 800 км/час. Области в пределах 1,6 км береговой линии и находящиеся на высоте 15 м над уровнем моря подвергаются наибольшему риску при возникновении цунами. Морская вода может вторгнуться в наземные накопительные колодцы и водоемы и просочиться под землю. Ситуация становится особенно серьезной, когда морская вода проникает в водоносный горизонт. Могут пройти годы, и даже десятилетия, пока в результате сезонного выпадения осадков произойдет вымывание солей из почвы, водоносного горизонта или пород. Иногда этот процесс требует еще большего времени. В некоторых случаях русло реки может послужить путем прохождения цунами, что приводит к затоплению огромных территорий, расположенных далеко от побережья.

В данной работе рассматриваются негативные последствия цунами 26 декабря 2004 года, отразившиеся на ресурсах подземных вод Индийского побережья и предлагаются меры ликвидации последствий в подобных ситуациях. Особый интерес в рамках данного исследования представляло проведение оценки гидрогеологических характеристик и риска, которым подвергаются прибрежные водоносные горизонты в некоторых районах штата Тамилнаду в юго-восточной Индии.

## **Цунами 26-12-2004**

26 декабря 2004 года землетрясение силой 9,3 балла по шкале Рихтера нанесло удар по активной субдукционной зоне вдоль восточного края Индийской литосферы у берегов Суматры в Индонезии. Примерно через два часа волны цунами достигли Индийского побережья. Волна достигла Андаманских островов, восточного побережья Шри Ланки и штата Тамилнаду, дойдя до Ориссы, и двинулась далее на север вдоль восточного побережья. Когда волны цунами приближаются к мелководью вдоль береговой линии, их энергия трансформируется в энергию очень мощных приливных волн большой высоты (10-30 м), обладающих большой разрушительной силой.

## **Описание исследованной области**

Береговая линия Индии имеет протяженность примерно в 7 500 километров (5 700 километров на материковой части страны) и ограничивает области девяти прибрежных штатов, двух групп островов и четырех союзных территорий. Экосистемы побережья отличаются большим разнообразием – от песчаных пляжей и мангровых зарослей до коралловых рифов и скалистых берегов. Примерно одна пятая населения Индии проживает вдоль побережья. Юго-восточная часть побережья штата Тамилнаду, от озера Пуликат до мыса Коморин, общей протяженностью 992 км подверглась разрушительному удару цунами 26 декабря 2004 года. В настоящем исследовании рассматриваются последствия воздействия цунами на режим подземных вод с точки зрения гидрогеологических характеристик и качества и количества воды. Была совершена ознакомительная поездка, проведены анализы и получены данные по гидрохимии подземных вод, а также проведен их мониторинг. Система глобального позиционирования (GPS) была использована для соотнесения полученных данных с географическим расположением объектов. Степень минерализации была определена и описана Раманатаном и др. (1997) Оценка ресурсов подземных вод с учетом степени их минерализации в неглубоко

залегающих флювиальных водоносных горизонтах и их протяженность в Пондишере и Куддалоре (районе в штате Тамилнаду) дана в работах Тондимуту (1994), Кешавана (1996) и Кешари (2005). В этих исследованиях можно найти очень хорошие базовые данные, позволяющие провести сравнение с условиями, сложившимися после прохождения цунами.

### **Влияние на качество подземных вод**

Цунами оказало воздействие на системы подземных вод в низменных прибрежных районах, а также в районах, расположенных вдоль побережья и имеющих плохую естественную защищенность и с недостаточным растительным покровом. Рисунок 10.5.1 показывает один из таких районов, в котором затопление, вызванное цунами, нанесло ущерб побережью штата Тамилнаду.

Представление о масштабах цунами можно получить по отметке уровня воды на стене (Рис.10.5.2), которая показывает, что вода при наводнении поднималась до 1,5 м над уровнем моря. Степень снижения качества подземных вод зависит от местных гидрогеологических условий, почвенных характеристик, степени инфильтрации, длительности затопления морской водой и погодных условий во время стихийного бедствия.

В ходе исследований был проведен мониторинг уровня грунтовых вод в нескольких местностях и сделано сравнение полученных результатов с данными, полученными в более ранний период.

***Рисунок 10.5.1. Вторжение водных масс цунами через слабо защищенные зоны прибрежных дюн.***

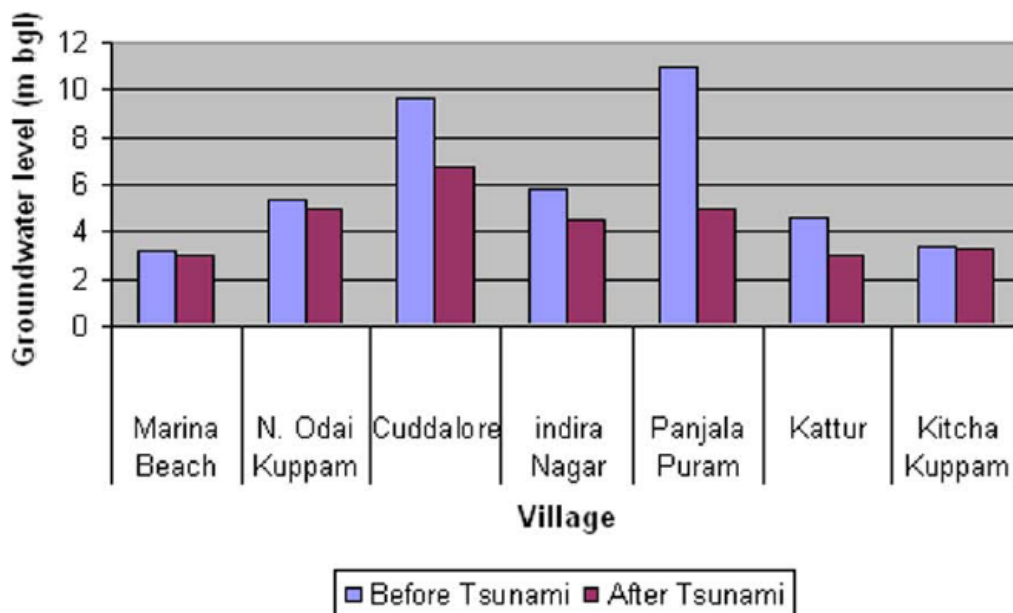


***Рисунок 10.5.2 Отметка уровня воды, показывающая высоту затопления волнами цунами***

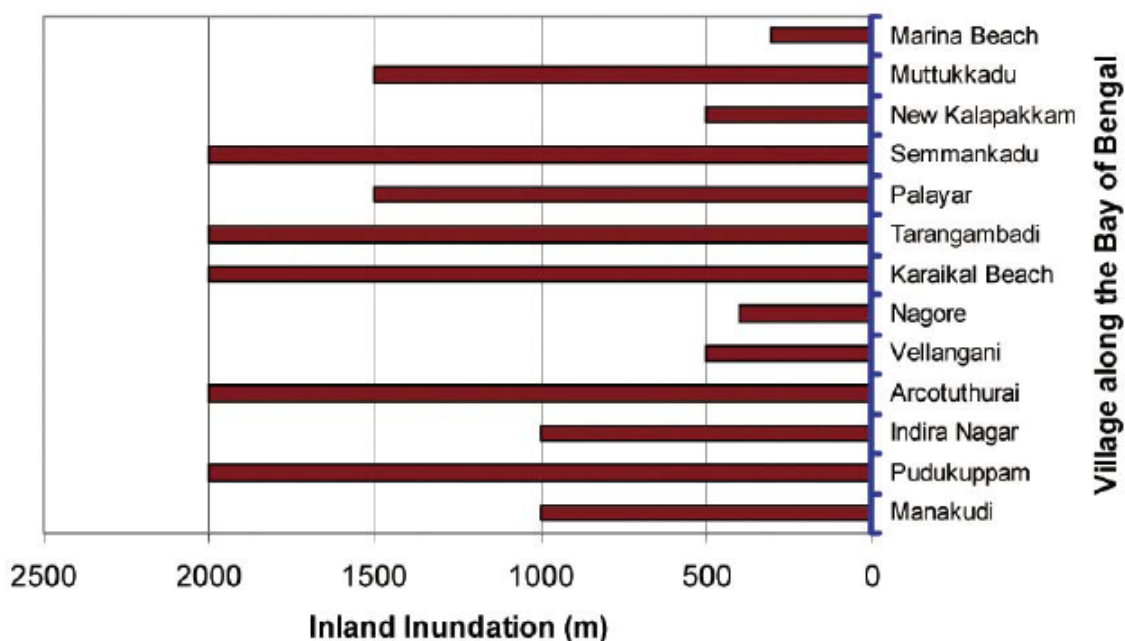


Рисунок 10.5.3. показывает, что после воздействия цунами во многих местностях глубина залегания водоносных пластов уменьшилась на 0,5-5,5 м. Повышение уровня залегания определенно связано со структурой потока подземных вод и их минерализацией. Вторжение водных масс, принесенных цунами на сушу вдоль наиболее пострадавшего юго-восточного побережья Индии показано на рисунке 10.5.4. На этом рисунке видно, что волны цунами привели в некоторых местах к проникновению соленой воды вглубь суши на расстояние до 2 км. Это привело к повреждению многих сооружений и устройств, входивших в состав инфраструктуры, обеспечивавшей водоснабжение вдоль юго-восточного побережья, в том числе ручных насосов в сельской местности.

**Рисунок 10.5.3 Уровни подземных вод до и после цунами**

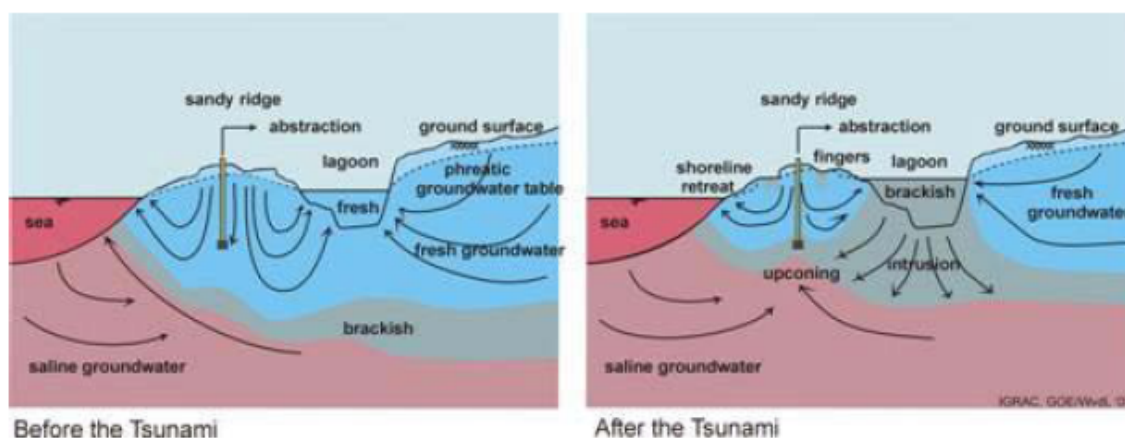


**Рисунок 10.5.4** *Распространение на сушу наводнения, вызванного цунами вдоль юго-восточного побережья Индии*



Тем не менее, вода в некоторых скважинах и колодцах осталась пресной даже после прохождения цунами. Такое явление имеет явную связь с гидрогеологическими, топографическими и почвенными условиями, со степенью защищенности почвы растительным покровом на участках вокруг скважин. Все эти условия повлияли на просачивание соленых или слабо минерализованных вод и на динамику взаимодействия пресной и соленой воды. Рис. 10.5.5 показывает возможный механизм минерализации прибрежной системы подземных вод. (Источник: <http://igrac.nitg.tno.nl/tsunami2-i.html>).

**Рисунок 10.5.5** *Схематическое изображение предполагаемого механизма воздействия цунами на прибрежную систему подземных вод*



Вторгшиеся на сушу массы морской воды заливались в открытые колодцы и скважины, заполняли впадины, приводя к просачиванию соленой воды в неглубоко залегающие водоносные горизонты даже после окончания действия цунами. Затопление прибрежных районов привело также к распространению загрязняющих веществ из различных антропогенных источников. Все это привело к тому, что подземные воды стали непригодными для потребления человеком, а также к ущербу, нанесенному сельскохозяйственному производству в прибрежных районах южной Индии.

## Стратегия устранения ущерба

Существует настоятельная необходимость разработки и воплощения стратегии устранения нанесенного ущерба, поскольку морская вода загрязнила открытые скважины и водохранилища, сделав их воду непригодной для питья. Однако это бедствие вызвало также другие процессы, такие, как дисперсия и диффузия солей, а также естественную конвекционную минерализацию под воздействием разницы в плотности. Для прекращения и контроля процесса минерализации соленую воду необходимо откачивать для уменьшения проникновения морской воды в прилегающие массы пресной воды.

Скважина, расположенная в 23 м от моря в городе Ченнай была первоначально пресноводной скважиной, но после цунами вода в ней стала соленой. Местные жители сообщают, что загрязненная вода скважины откачивалась в течение месяца в среднем в течение 8 часов в день. В результате показатели общего содержания в воде этой скважины снизились до 900 мг/л. Хотя вода из этой скважины до сих пор не используется в качестве питьевой, она используется для орошения прилегающих плантаций и сельскохозяйственных угодий. Откачка оказала положительное воздействие на регулирование процесса минерализации во многих близлежащих скважинах.

## Выводы

Затопление морской водой в результате цунами негативно повлияло на качество подземных вод и их объемы. Кроме того, что пострадало качество питьевой воды, произошла деградация сельскохозяйственных земель в результате их затопления соленой водой. Воздействие на них морской воды было усилено высокими нормами испарения в этом регионе. Некоторое опреснение минерализованной воды объясняется естественным восполнением, но этот процесс может потребовать нескольких сезонов муссонов.

Незатронутые бедствием подземные воды сыграли важнейшую роль в немедленном удовлетворении потребностей местного населения в питьевой воде. Тем не менее, более упорядоченный подход необходим для разведывания ресурсов подземных вод, устойчивых к воздействию цунами и подобных явлений в целях их использования в качестве резервного источника питьевой воды в чрезвычайных ситуациях. Это и является целью GWES: исследование естественно защищенных водоносных горизонтов, разработка директив по сооружению колодцев для общественного использования, проведение кампаний по просвещению населения и определение стратегических мер по восстановлению скважин и регулированию процессов минерализации. Существует необходимость создания системы мониторинга качества подземных вод, определения точных геохимических характеристик региона, подвергшегося воздействию стихийного бедствия и оценки его отдаленных последствий, способных оказать влияние на качество подземных вод прибрежных водоносных горизонтов. Следует отметить, что эти меры помогут также проведению мониторинга поступления освободившихся нитратов и фторидов в пресную воду.

## Литература

Keshari, A.K. 2005. *Groundwater modeling for Pondicherry region*. A Report submitted to PWD, TRPP, Government of Pondicherry.

Keshavan, S. 1996. *Hydrogeochemical studies of ground waters in the East coast of India from Cuddalore to Pudhuchathiram*, Unpublished M. Phil dissertation, Annamalai University, 130 p.

Ramanathan A.L., Keshavan, S., Chidambaram, S., and Kathiresan, M. 1997. *Hydrogeochemical studies of groundwater in Cuddalore-Puduchathiram region, India*. Indian Journal of Marine Sciences, Vol. 27, pp. 167–72.

Thondimuthu, P. 1994. *Hydrogeochemical studies of Pondicherry region, India*. Unpublished M.Phil dissertation, Annamalai University, Tamilnadu, 124 p.



# 11. Глоссарий

Приведенный ниже перечень технических терминов был взят в основном из Международного гидрогеологического глоссария (ЮНЕСКО-ВМО, 1992), некоторые толкования были заимствованы у Бейтса и Джексона (1980) и Феттера (1980). Более специфические дефиниции, относящиеся к природным катастрофам, даны в I Докладе ООН об Освоении Водных Ресурсов Мира (2003).

**Добыча:** Извлечение воды из любого источника на постоянной или временной основе

**Аллювиальная равнина:** равнинный участок на дне долины, периодически подвергающийся затоплению при разливе водного потока.

**Водоупор:** насыщенная формация с низкой гидравлической проводимостью, которая подает незначительные объемы воды в стоки, колодцы, источники и ручьи.

**Водоносный горизонт:** проницаемая, содержащая воду формация, способная обеспечивать поступление воды в объемах, достаточных для ее добычи в промышленных масштабах.

**Слабопроницаемый водоупор:** формация с низкой гидравлической проводимостью, которая пропускает воду в очень малых объемах по сравнению с объемами воды водоносного горизонта.

**Область влияния** (син. Зона влияния) Область вокруг водозаборной или нагнетательной скважины, в которой уровень подземных вод (безнапорный водоносный горизонт) или пьезометрическая поверхность (напорный горизонт) повышается или понижается за счет откачки или нагнетания.

**Артезианский водоносный горизонт** (см. также напорный водоносный горизонт): Водоносный горизонт, пьезометрическая поверхность которого расположена выше поверхности земли.

**Артезианская скважина:** Скважина, вскрывающая напорный или артезианский водоносный горизонт, в котором статичный уровень воды находится выше поверхности земли.

**Очищение от загрязнений:** Природное свойство пород и подземных вод, понижать содержание, удалять, растворять или замедлять проникновение загрязняющих веществ посредством сложных физических, химических и биологических процессов, происходящих в системе почва – породы - подземные воды.

**Базисный поток** (син. Базисный сток): Часть стока, который питается и поступает в русло водотока в основном за счет подземных вод, но также может иметь своим источником озера и ледники во время длительных периодов отсутствия осадков или снеготаяния.

**Голубая вода:** Вода с естественными физическими, химическими и микробиологическими свойствами.

**Граничные условия:** Комплекс условий для решения дифференциальных уравнений на границе (включая границу жидкости) области, в которой должно быть получено решение.

**Слабоминерализованная вода** (син. Минерализованная вода): Вода, содержащая соли в концентрации, значительно меньшей, чем концентрация солей в морской воде. Значения концентрации всех растворенных солей обычно находятся в пределах 1 000 – 10 000 мг/л.

**Капиллярная кайма:** зона, расположенная непосредственно над уровнем грунтовых вод, в которой все пустоты заполнены водой, находящейся под давлением ниже атмосферного.

**Климатические изменения:** Значительные изменения, наблюдающиеся в климате региона по отношению к периоду, с которым проводится сравнение.

**Воронка депрессии:** Депрессия уровенной или пьезометрической поверхности подземных вод в форме конуса с вогнутой поверхностью направленной вверх, которая определяет область влияния скважины.

**Напорный водоносный горизонт** (см. также артезианский водоносный горизонт): Водоносный горизонт, перекрываемый непроницаемой или почти непроницаемой формацией.

**Напорные подземные воды** (суб-артезианские подземные воды): воды, полностью заполняющие напорный водоносный горизонт, пьезометрический уровень которых располагается выше границы с ограничивающим слоем.

**Реликтовая вода:** вода, проникшая в пустоты осадочных пород в период их образования и с тех пор не имевшая выхода в биосферу.

**Загрязнение** (см. также заражение): Проникновение в воду любых нежелательных примесей, обычно не присутствующих в воде, например, микроорганизмов, химических веществ, отходов или сточных вод, которые могут сделать воду непригодной для использования в тех целях, для которых она предназначалась.

**Закон Дарси:** Закон, выражающий зависимость скорости ламинарной фильтрации несжимаемой жидкости сквозь пористую среду от градиента напора.

**Банк данных:** Полный набор данных по данной тематике, обычно хранящийся на ЗУ с прямым доступом.

**Система сбора данных:** согласованная система сбора данных, полученных в результате наблюдений, в гидрологической сети и их передача на устройства обработки данных.

**Обработка данных:** преобразование данных наблюдений для использования в определенных целях.

**Катастрофа:** Серьезное нарушение нормальной жизни населения или общества, которое влечет за собой широкомасштабные человеческие, материальные, экономические потери и причинение ущерба окружающей среде, находящиеся за пределами возможностей пострадавшего населения/общества справиться с последствиями собственными силами. Катастрофы часто классифицируются в зависимости от скорости их развития (внезапные или поэтапные), или в соответствии с породившими их причинами (природные или техногенные).

**Дебит** (син. расход): Количество воды, поступающее в единицу времени из естественного или искусственного источника.

**Водораздел** (поверхностных или грунтовых вод): Линия, вдоль которой воды находятся в своей высшей точке, по обеим сторонам этой линии происходит сток в двух противоположных направлениях.

**Дренирующий бассейн** (син. водосборная площадь, бассейн реки, водосборный бассейн): Область, имеющая общий выход для своего поверхностного стока.

**Понижение уровня подземных вод:** Снижение уровня грунтовых вод или пьезометрической поверхности, вызванное извлечением подземных вод с помощью откачки, под действием артезианского напора из скважины, или в результате появления источника, выходящего на поверхность из водоносного пласта.

**Засуха:** Длительное отсутствие или явная недостаточность выпадения осадков.

**Сухой год:** Засушливый год, в течение которого выпадение осадков или водоток рек и других потоков находятся на значительно более низком уровне, чем обычно.

**Сила землетрясения** (магнитуда): Показатель силы землетрясения, или энергии напряжения, высвобождаемой им, согласно данным сейсмической разведки.

**Экосистема:** Система, в которой в результате взаимодействия различных организмов и окружающей среды, происходит циклический обмен вещества и энергии.

**Эффективная пористость:** Объем пористого вещества, через которое может проникать жидкость. Она выражается как соотношение объема взаимосвязанных пустот к общему объему пористой среды, включающему пустоты.

**Бессточный бассейн:** Бассейн, в котором происходят потери воды в результате суммарного испарения, но не имеющий стока в океан

**Окружающая среда:** Обобщающее понятие, относящееся как к естественным условиям, так и условиям, создавшимся под воздействием деятельности человека, как на поверхности земли и так под ее поверхностью до уровней, на которых может существовать какая-либо взаимосвязь с поверхностью.

**Эрозия:** Разрушение и перемещение почв, осадочных и скальных пород водой, ледниками, ветром или волнами.

**Испарение:** Процесс образования водяного пара над открытой водной поверхностью при температурах ниже точки кипения.

**Эвапотранспирация:** Перенос воды с поверхности земли в атмосферу в результате процессов испарения и транспирации растений.

**Сточный бассейн:** Бассейн, имеющий сток в океан.

**Паводок:** Повышение, часто кратковременное, уровня воды в реке до наивысшей отметки, от которой затем происходит его медленное снижение.

**Долина затопления:** Почти ровная поверхность земли, расположенная вдоль реки, затопляемая только в тех случаях, когда объемы речного стока превышают пропускную способность русла.

**Ископаемая вода:** Вода, просочившаяся в водоносный горизонт в ранние геологические периоды (>10 000 лет), когда климатические и геоморфологические условия отличались от современных, и находящаяся с тех пор в этом горизонте.

**Трещинная пористость:** Пористость, образовавшаяся в результате появления отверстий вследствие дробления или разрушения пород.

**Граница пресной и соленой воды:** Плоскость, разделяющая массы пресной и солоноватой или соленой воды, расположение которой относят к области переходной зоны между этими двумя жидкостями.

**Пресная вода:** природная вода с низкой концентрацией солей, или вода, обычно считающаяся пригодной для добычи и последующего использования в качестве питьевой после соответствующей обработки (ISO/6107).

**Поток, приобретающий подземные воды:** Поток, питающийся подземными водами, поступающими из зоны насыщения или из верхних водоносных горизонтов.

**Зеленая вода:** Вода, которая может быть извлечена из почвы растениями.

**Серая вода:** Сточные воды.

**Подземные воды:** Подповерхностные воды, занимающие зону насыщения.

**Общий водный баланс земного шара:** Водный баланс суши и морей планеты.

**Бассейн подземных вод:** Физико-географическая единица, содержащая один большой водоносный горизонт или несколько соединенных или взаимосвязанных водоносных горизонтов, воды которых вытекают из единого выходного отверстия и разграничиваются грунтовым водоразделом.

**Датирование подземных вод:** Определение периода времени с момента поступления атмосферной влаги в водоносный горизонт и временем отбора образцов.

**Течение подземных вод:** движение воды по водоносному горизонту.

**Уровень подземных вод:** Высота уровня подземных вод или гидростатического напора в водоносном горизонте в определенные периоды времени и в определенных местах.

**Добыча ресурсов подземных вод:** (в узком значении): Постоянная добыча подземных вод в объемах, превышающих ежегодное пополнение. (В широком значении) – Постоянное уменьшение запасов подземных вод в результате добычи.

**Чрезмерная эксплуатация подземных вод:** Извлечение воды из подземных горизонтов в объемах, превышающих средние нормы пополнения (см. также: Добыча ресурсов подземных вод).

**Сохранение подземных вод:** (син. Охрана подземных вод): Поддержание гидравлической и гидрохимической целостности системы подземных вод.

**Защита подземных вод:** Меры, направленные на защиту подземных вод от неблагоприятного воздействия со стороны человека или природных процессов (напр., истощения, загрязнения) и осуществляемые как в водоносных горизонтах, так и в вышележащих слоях или на поверхности.

**Сток подземных вод:** Часть поверхностного стока, которая при проникновении в грунт, превращается в подземные воды и стекает в русло потока в виде родника или фильтрационной воды.

**Запас грунтовых вод:** Количество воды в зоне насыщения водоносного пласта.

**Уязвимость грунтовых вод:** Природное свойство системы подземных вод, степень которого зависит от чувствительности этой системы к техногенному воздействию и/или воздействию природных факторов.

**Твердые породы водоносного горизонта:** Кристаллические горные породы, проницаемые в основном вдоль трещин.

**Угроза:** Потенциально опасное физическое явление или событие, которое способно причинить вред людям или их благосостоянию. Угроза может заключаться в скрытых явлениях или условиях, в которые в будущем могут развиваться под воздействием природных или техногенных процессов.

**Гидравлическая проводимость (Коэффициент фильтрации):** Свойство насыщенной пористой среды, которое определяет соотношение между удельным расходом воды и гидравлически градиентом.

**Гидравлический градиент:** В пористой среде: Снижение пьезометрического напора на единицу расстояния по ходу движения потока.

**Гидрогеологическая граница:** Граница между различными геологическими веществами, означающая переход от проницаемого материала водоносного слоя к материалу со значительно иными гидрогеологическими свойствами.

**Гидрогеология:** Раздел геологии, в рамках которого изучаются подземные воды.

**Гидрологический цикл:** Последовательность стадий поступления воды из атмосферы на землю и обратно в атмосферу.

**Гидрологическая сеть:** Совокупность гидрологических станций и наблюдательных пунктов в пределах определенной области (бассейна, водоносного горизонта, административной единицы), обеспечивающая средства изучения гидрологического режима подземных вод.

**Гидрологический режим:** Изменения состояния или характеристик водных масс, которые имеют периодичность во времени и пространстве и проходят через определенные фазы, например, сезонные изменения.

**Гидрологический год:** Период длительностью 12 месяцев, не совпадающий с календарным, который выбирается таким образом, чтобы изменения в объеме подземных вод в водоносном горизонте были минимальными.

**Искусственное восполнение:** Извлечение подземных вод в местности, прилегающей к водному потоку или водоему таким образом, чтобы понижение уровня грунтовых вод вызвало поступление воды из реки или водоема в водоносные пласты.

**Просачивание:** Проникновение воды с земной поверхности в пористую среду.

**Инфильтрационное просачивание:** Движение гравитационной воды в зоне аэрации от поверхности земли в направлении горизонта грунтовых вод.

**Область питания:** (син. область пополнения): Область, из которой происходит поступление воды в водоносный горизонт путем непосредственного просачивания или в результате стока и последующего просачивания.

**Международные подземные воды:** (трансграничные бассейны): Подземные воды, область распространения которых разделяется государственными границами, или система текущих поверхностных и подземных вод, различные части которой находятся на территории различных государств.

**Изотопы:** Атомы одного элемента, радиоактивные или устойчивые, с разной массой атома или ядра. Разновидности атомов (и ядер) одного химического элемента с разным количеством нейтронов



**Фракционирование изотопов:** Изменение соотношения различных изотопов в едином массиве под влиянием изменений физико-химических параметров вмещающей среды, например, изменении фазы, рассеивания или химической реакции.

**Изотопный индикатор:** Искусственный (добавленный в воду) или природный (присутствующий в воде) радиоактивный индикатор, являющийся изотопом одного из элементов, содержащихся в воде.

**Карстовая гидрология:** Раздел гидрологии, занимающийся растворимыми геологическими формациями, содержащими трещины и каналы растворения, делающие возможным движение больших объемов подземных вод.

**Ламинарный поток:** Движение жидкости, при котором силы вязкого сопротивления являются преобладающими (не турбулентный поток).

**Оползень:** Общий термин, охватывающий целый ряд разновидностей смещения горных пород и процессов, сопровождаемых переносом вещества вниз по склону под действием силы гравитации, движение больших масс почвы и пород.

**Переток:** Поток воды, втекающий в водоносный горизонт или вытекающий из него через подстилающие или перекрывающие полупроницаемые слои.

**Поток, теряющий воду:** Поток, из которого происходит утечка воды под почву, которая поступает в зону насыщения.

**Минеральная вода:** Вода, содержащая значительные количества минеральных солей (>1 г/л). воды, которые характеризуются наличием определённых солей и других химических соединений.

**Мониторинг:** Проведение непрерывных или периодических стандартизированных измерений и наблюдений за окружающей средой, часто в целях предупреждения и контроля.

**Селевой поток:** Поток воды, с такой большой концентрацией почвы и обломков горных пород, что движущая масса становится густой или вязкой.

**Наблюдательная скважина:** Скважина, используемая для определения физических или химических параметров подземных вод.

**Отток:** Поток воды, вытекающий из реки, озера, бассейна, водоносного горизонта и т.д.

**Откачка сверх гарантированного дебита:** Объем воды, извлекаемый из системы водных ресурсов на уровне, превышающем оптимальные объемы добычи.

**Проницаемость:** Свойство или способность пористых пород, осадочных отложений или почв пропускать жидкость: является мерой относительной легкости движения жидкости при неравном давлении.

**Подвешенные грунтовые воды:** Масса подземных вод, обычно небольшого размера, поддерживаемая водоупором или слабопроницаемым водоупором, которая располагается между фреатическими подземными водами и земной поверхностью.

**Фреатические воды** (син. Безнапорные подземные воды): Подземные воды, залегающие в зоне насыщения и имеющие зеркало вод.

**Пьезометр** (дословно - прибор для измерения давления) Скважина, пробуренная в (напорном) водоносном горизонте, уровень воды в которой является показателем давления в водоносном горизонте.

**Пьезометрический напор** (син. гидростатический напор): Высшая точка, до которой вода поднимется в пьезометре, соединенном с определенной точкой в водоносном горизонте.

**Загрязняющее вещество:** Вещество, которое делает невозможным использование воды в тех целях, для которых она предназначалась.

**Пористость:** Отношение объема пустот к общему объему породы.

**Радиоактивное датирование:** Метод определения возраста горных пород на основе радиоактивного распада изотопов.

**Радиоактивность:** Процесс самопроизвольного превращения неустойчивых атомных ядер в ядра других радиоактивных элементов, сопровождающийся излучением.

**Питание подземных вод** (син. Пополнение подземных вод): Процесс, посредством которого дополнительные объемы воды извне непосредственно или через другую формацию поступают в водоносный горизонт.

**Дистанционное зондирование:** Проведение измерений или получение информации о некоторых свойствах объекта, района или явления с помощью записывающего устройства, не имеющего непосредственного контакта с изучаемым объектом или явлением.

**Время пребывания** (см. также Возраст): Период, в течение которого вода или вещество остается составной частью гидрологического цикла.

**Сток:** Часть атмосферных осадков, стекающая в виде водного потока.

**Риск:** Вероятность вредных последствий или предполагаемых потерь (жизни, опасных ранений, ущерба собственности или окружающей среде, потери средств к существованию или нарушения хозяйственной деятельности) в результате воздействия природных или техногенных явлений на уязвимые системы. Общепринято определять степень риска с помощью уравнения:

Риск = Опасность X Уязвимость.

**Оценка риска:** определение возможного ущерба, который может быть причинен людям, окружающей среде и инфраструктуре опасным природным или техногенным явлением. Оценка включает в себя анализ опасного явления или явлений, их вероятности и сценария развития; анализ уязвимости (физической, функциональной и социально-экономической); а также имеющихся средств и механизмов, позволяющих справиться с подобными явлениями. Оценка риска позволяет сформировать необходимую базу для разработки мер по уменьшению опасности катастроф и подготовки к ним.

**Минерализация:** Уровень концентрации растворенных солей, в основном хлорида натрия в соленой и морской воде.

**Соленая вода:** Вода, в которой концентрация солей относительно высока (выше 10 000 мг/л).

**Интрузия соленой воды:** Явление, имеющее место в тех случаях, когда массы соленой воды вторгаются в массу пресной воды. Это может произойти с массами как поверхностных, так и подземных вод.

**Зона насыщения:** Часть водосодержащего материала, в которой все пустоты заполнены водой.

**Модуль подземного стока:** Средний сток подземных вод на единицу водоносного горизонта или бассейна подземных вод.

**Удельный дебит:** Дебит скважины на единицу понижения уровня воды в скважине.

**Родник, источник, ключ:** Место, где вода из водоносных пластов естественным образом выходит из горных или осадочных пород на поверхность земли или в поверхностные воды.

**Устойчивый изотоп(ы):** Изотоп(ы) элемента, которые не претерпевают радиоактивный распад.

**Запас:** Объем воды, сохранившийся в пустотах водоносной формации.

**Буря:** Проливной дождь, сильный снегопад или град, сопровождающиеся или не сопровождающиеся ветром, ассоциируемые с сепарабельным метеорологическим явлением.

**Стратиграфия:** Научная дисциплина, занимающаяся изучением пластов горных пород.

**Водный поток:** Общий термин для обозначения потоков воды, текущих в русле реки или ручья.

**Устойчивость:** Способность удовлетворять потребности живущих в настоящее время поколений без нанесения ущерба возможностям будущих поколений удовлетворять их потребности.

**Индикатор:** Легко отслеживаемый материал, который можно добавить в небольших количествах в поверхностные или подземные воды для получения картины их движения или в целях определения таких характеристик, как скорость, время прохождения, возраст, степень разведения и т.д.

**Водопроводимость:** Скорость, с которой вода проходит через единицу мощности водоносного горизонта при единице гидравлического градиента. Выражается как произведение гидравлической проводимости и мощности насыщенной части водоносного горизонта.

**Время прохождения:** Время, необходимое для перемещения воды вдоль потока от одного пункта до другого.

**Цунами:** Огромная морская волна, образовавшаяся в результате подводного землетрясения или извержения вулкана.

**Безнапорный водоносный горизонт:** Водоносный горизонт, поверхность грунтовых вод которого идентична пьезометрическому напору.

**Ненасыщенная зона (зона аэрации):** Зона между поверхностью земли и поверхностью подземных вод. Она включает в себя корнеобитаемый слой, промежуточную зону и капиллярную кайму. Пространства пор содержат воду, которая находится под давлением ниже атмосферного, так же как воздух и другие газы.

**Уязвимость** (при воздействии опасных явлений): Функция деятельности и поведения человека, определяющая степень, в которой социально-экономическая система чувствительна к воздействию чрезвычайных событий.

**Вади:** Канал, образовавшийся в результате эрозии почв, который остается сухим в течение всего года и заполняется водой только в сезон дождей.

**Сточные воды:** Вода, содержащая отходы, например, жидкие или твердые вещества, сброшенные как бесполезные в ходе производственного процесса.

**Охрана водных ресурсов:** Меры, принимаемые для снижения расхода воды, потребляемой в любых целях и/или для защиты водных ресурсов от загрязнения.

**Управление водными ресурсами:** Плановое развитие, распределение и использование водных ресурсов.

**Политика водопользования:** Комплекс законодательных актов, их толкований, решений правительственных органов, ведомственных нормативов, а также реакция общественности, которыми руководствуется правительство страны в своих действиях, имеющих отношение к качеству и количеству водных ресурсов.

**Водные ресурсы:** Вода, которая доступна, или может стать доступной, для использования в достаточном количестве при ее удовлетворительном качестве в данной местности и в период времени, достаточный для удовлетворения поддающихся учету потребностей.

**Уровень подземных вод:** Воображаемая плоскость в зоне насыщения фреатического водоносного горизонта, давление на которую равно атмосферному (аппроксимированному по устойчивому уровню воды в скважине).

**Водоток:** Система поверхностных и подземных вод, составляющая единое целое и обычно движущаяся по направлению к единому конечному пункту в результате их физического взаимодействия.