

**Российский государственный геологоразведочный
университет им.Серго Орджоникидзе**

На правах рукописи

УДК 556.3(569.1)

Салих Касем Омар

**Закономерности формирования ресурсов подземных вод в сложных геолого-
тектонических условиях на территории равнины Забадани
(Сирийская Арабская Республика)**

Специальность 25.00.07 – гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва-2009

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ)

Научный руководитель:

доктор географических наук, доцент
А.П. Белоусова (РГГРУ)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Хаустов Александр Петрович (РУДН)

кандидат геолого-минералогических наук,
Голубев Серафим Михайлович
(ОАО «Зарубежгеология»)

Ведущая организация: (ОАО ВНИИ «Зарубежгеология»).

Защита состоится 17 декабря 2009 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ, аудитория 5-49

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

Автореферат разослан _____ ноября 2009 г.

Приглашаем Вас принять участие в заседании совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ, ученому секретарю диссертационного совета Ленченко Н.Н., факс: (095) 433-62-56,
E-mail:hydrogeo@msgpa.ru

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Н.Н. Ленченко

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Вопрос обеспечения пресной водой населения является одним из важных и актуальных вопросов на территории Сирийской Арабской Республики. Проблема водообеспечения становится все более острой в связи с ростом населения и расширением орошаемых территорий. Одновременно интенсивное развитие промышленности привело к загрязнению поверхностных вод, это в свою очередь обусловило увеличение потребности в питьевых пресных подземных водах как наиболее защищенных от загрязнения.

Изучаемый район (равнина Забадани) находится в 30 км северо-западнее от города Дамаска. Геологическая структура района очень сложная и она занимает 1/3 южной части Восточных Ливанских гор, в тектоническом отношении - это грабен в обрамлении горных массивов, разбитый множеством тектонических разломов. Равнина Забадани считается одним из горных водных бассейнов, особенностью которого являются высокие отметки и уклоны потоков подземных вод в области питания на склонах гор и равнинный характер потоков в области собственно долины Забадани.

Подземные воды в бассейне Забадани являются основным источником водоснабжения г. Дамаска пресной питьевой водой. Главным поставщиком пресных вод здесь является родник Барада с большим средним расходом подземных вод ($1.2 \text{ м}^3/\text{с}$), за счет которого сформировалась долина реки Барада. Формирование этой долины, грабена Забадани, ресурсов подземных вод, самого родника происходило в сложных геолого – тектонических условиях, что в значительной степени осложнило изучение этого района, выявило недостаточность применения при этом только геолого-гидрогеологических методов и подходов их изучения.

В связи с этим, актуальным является применение дополнительных методов исследований с целью обеспечения наибольшей достоверности гидрогеологических параметров, характеризующих структуру потоков подземных вод, их взаимосвязь между собой, связь с атмосферой и поверхностной гидросферой, а также для выявления роли разломов при их формировании. Таким методом является метод математического моделирования, позволивший построить геофильтрационную модель потоков подземных вод, наиболее адекватно описывающую их природные и гидрогеологические особенности.

Цель и задачи исследований. Цель диссертационной работы заключается в научно-обоснованном выборе на основе изученных закономерностей формирования ресурсов подземных вод перспективных участков для расположения водозаборов, обеспечивающих питьевой водой г. Дамаск.

В соответствии с целевой установкой поставлены следующие задачи научных исследований:

- Изучение природных условий исследуемого района (климат, рельеф и др.) и определение их роли в формировании ресурсов подземных вод;

- Изучение и анализ геологических и гидрогеологических условий региона (факторы, влияющие на формирование водоносных горизонтов, характеристика водоносных горизонтов, гидрогеологические структуры и воды разломов, качество подземных вод);

- Разработка геофильтрационной модели с целью уточнения количественных характеристик водоносных горизонтов, их взаимосвязи на основе решения задачи стационарной фильтрации;

- Выбор и обоснование перспективных участков для расположения водозаборов с учетом природных и антропогенных факторов;

- Оптимизация выбранных водозаборов по условиям водоотбора подземных вод с учетом возможного изменения их качества в процессе водоотбора.

Материалы, положенные в основу исследований

Исходным гидрогеологическим материалом послужили:

- Материалы геолого-гидрогеологической съемки масштаб 1:50000, геологические, гидрогеологические, гидрохимические, литолого-фациальные и структурно-тектонические карты и разрезы, геофизические исследования;

- Данные о гидродинамическом и гидрохимическом режиме водоносных горизонтов за период времени с 1984 по 2009 г, содержащиеся в фондовых отчетах, выполненных при гидрогеологических исследованиях советской компанией «Техноэкспорт». Данные «Ленгипроводхоза», который совместно с Генеральной дирекцией по ирригации бассейнов рек Барада и Аль-Ауаж (Сирия), проводил гидрогеологические исследования района, в результате чего была составлена гидрогеологическая карта района.

Методы исследований

Использовались методы геолого-гидрогеологического районирования территории с целью дальнейшей оценки защищенности подземных вод от загрязнения. Работа выполнена методом математического моделирования стационарных и нестационарных потоков подземных вод с использованием программы Visual Modflow v4.2, для оцифровки ряда карт использовались ГИС-технологии. Использовался модельно-картографический метод построения карт защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению.

Использовалось математическое моделирование процессов загрязнения подземных вод бактериями с использованием математической программы MT3DMS v1.5.

Научная новизна

Новизна диссертационной работы состоит в том, что:

- Впервые для равнины Забадани проведены систематизация и научное обобщение материалов региональных гидрогеологических исследований, разработаны принципы типизации и сравнительного анализа природных факторов, характеризующих условия формирования ресурсов подземных вод;

- Построена стационарная геофильтрационная модель равнины Забадани с оценкой элементов водного баланса подземного потока. Уточнены гидрогеологические параметры водоносных горизонтов и их структура;

- Установлены основные механизмы переноса бактериального загрязнения и миграционные параметры этого процесса;

- Предложены перспективные участки для расположения водозаборов, и рекомендованы оптимальные величины водоотбора для них с учетом гидрогеологических условий района и возможности загрязнения пресных питьевых вод.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Установленные закономерности формирования и распространения ресурсов подземных вод равнины Забадани, позволившие выделить основные водоносные горизонты и комплексы с использованием комплекса геологических, гидрогеологических, гидрогеохимических и геофизических исследований; геолого-гидрогеологическое районирование изучаемой территории как основы дальнейшей оценки условий защищенности водоносных горизонтов от загрязнения.

2. Установленная на основе анализа природных факторов структура потоков подземных вод и уточненные гидрогеологические параметры и величины инфильтрационного питания водоносных горизонтов, полученные в результате решения стационарной задачи фильтрации, необходимые для оценки условий использования подземных вод для водоснабжения.

3. Методология выбора и обоснования перспективных участков для использования подземных вод с целью водоснабжения с учетом природной защищенности подземных вод от загрязнения бактериями.

4. Рекомендации по оптимизации проектируемого водоотбора на выбранных водозаборах с учетом гидрогеологических и геохимических ограничений при их возможной эксплуатации, установленных на основе моделирования нестационарной фильтрации и миграции загрязняющих веществ.

Практическая значимость и реализация результатов работы

Результаты выполненных исследований использованы для:

- выбора наиболее перспективных участков для расположения водозаборов подземных вод на изучаемой территории;

- для проектирования водозаборов пресных вод с целью обеспечения питьевыми водами населения г. Дамаска.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы доложены на (VIII –IX) Международных конференциях «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2007, 2009) и на VII международной конференции «Экватэк-2006» (Москва, 2006). По теме работы опубликовано 5 печатных работ.

Личный вклад автора

Автором проведен анализ условий формирования водоносных горизонтов на изучаемой территории, построена серия гидрогеологических разрезов, карт различного назначения с использованием современных ГИС-технологий; выполнено моделирование стационарной и нестационарной фильтрации и миграции бактерий, установлены (уточнены) гидрогеологические и миграционные параметры; разработаны рекомендации по обоснованию, оптимизации перспективных участков для расположения водозаборов и водоотбора из них.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, общий объем 155 страниц, включает 59 рисунков, 16 таблиц. Список литературы содержит 108 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.н. Белоусовой А.П. за постоянное внимание и всестороннюю помощь при выполнении работы. Автор благодарен заведующему кафедрой гидрогеологии РГГРУ профессору Швецу В.М., Крысенко А.М., Ленченко Н.Н., Грабовникову В.А., Черепанскому М.М., Осмоловскому И.С., Головину В.В. и всем сотрудникам кафедры гидрогеологии РГГРУ за внимание и поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая характеристика работы, сформулированы ее цели и задачи.

Глава 1. Особенности природных и геолого- гидрогеологических условий на территории равнины Забадани (юго- запад Сирии)

Изучаемая территория -это межгорная впадина, вокруг которой рельеф повышается от отметки 1000 м до 2000 м. Климат района сухой и жаркий, отличается длинным летом и короткой зимой. Температура колеблется от 30-до 32°C в июле и августе, начиная с января месяца до конца февраля, падает до -10°C.

На изучаемой территории различаются два вида поверхностных водотоков постоянные и временные. К постоянным водотокам относится река Барада (1.94 м³/с).

Река имеет площадь водосбора 1380 км² (в том числе ее часть, находящаяся за пределами изучаемой территории), она начинается с родника Барада (1.2 м³/с) и затем течет в южном направлении.

Геологическое строение. Изучаемая территория расположена в пределах хребта Антиливана, который является частью северного склона Аравийской платформы. Здесь развиты мезозойские и кайнозойские отложения, среди которых установлены: юрская, меловая, неогеновая и четвертичная системы.

Мезозойские отложения характеризуются складчатым залеганием, а кайнозойские залегают почти горизонтально.

Среди отложений юрской системы выделены келловейский, оксфордский, кимериджский и титонский ярусы верхнего отдела. Юрские отложения имеют почти повсеместное распространение. Они обнажаются только в западной части территории в районе гор Шер-Мансур. Общая мощность юрских отложений составляет 950 м.

Меловая система представлена двумя ее отделами. Меловые отложения залегают со стратиграфическим несогласием на юрских. Среди них выделяются доверхнеаптские, аптские и альбские отложения, обнажающиеся на поверхности восточнее линии, соединяющей города Блюдан, Букен и Мадар. Меловые отложения характеризуются складчатым залеганием. Общая мощность меловых отложений составляет 1823м.

Отложения неогеновой системы относятся к плиоцену, миоценовые отложения в районе отсутствуют.

Среди четвертичных отложений развиты породы верхнего звена и голоцена.

Тектоника. Через центральную часть описываемого района в меридиональном направлении проходит зона ливанских сдвигов, протягивающаяся от Мертвого моря на юге до регионального широтного северо-анатолийского сдвига на севере. Почти меридиональный разлом Сергая перекрытый полностью верхнеогеновыми и

четвертичными отложениями. Разлом Сергая делит район на две различных в тектоническом плане части: западную и восточную. В западной части до побережья Средиземного моря в мезо-кайнозойском чехле развиты крупные линейные складки меридионального простирания, нарушенные многочисленными разрывами преимущественно продольной и поперечной ориентировки. В восточной части района залегание мезо-кайнозойского чехла плавное, спокойное, нарушенное редкими протягивающимися разрывами сбросово-сдвигового строения. Вдоль разрыва Сергая в рельефе расположена впадина Забадани, шириной от 1 до 4 км, заполненная почти горизонтально залегающими верхнеогеновыми и четвертичными отложениями (рис. 1).

Гидрогеологические условия.

Водоносный горизонт в четвертичных отложениях приурочен к галечникам, пескам, суглинкам и аллювиально – пролювиальным обломочным материалам. Этот горизонт питается атмосферными осадками, а также водами юрских и доверхнеаптских отложений, которые перекрываются четвертичными отложениями в западной части впадины, связанными с разломом Сергая. Воды хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией до 1.16 г/л.

Водоносный горизонт в неогеновых отложениях представлен конгломератами, песчаниками, известняками и глинами. В этих отложениях нет постоянного водоносного горизонта, что связано с небольшим количеством инфильтрующихся атмосферных осадков и с несогласным залеганием неогеновых отложений. Подземные воды сульфатно-гидрокарбонатные с минерализацией 0.5 г/л.

Водоносный горизонт в сеноманских отложениях приурочен к массивным слаботрещиноватым известнякам (закарстованным) и доломитам. Трещиноватость этих пород связана с тектоническими зонами образования брекчий. Карстовый процесс более четко проявляется в верхней части разреза, где среди доломитов встречаются литологические окна диаметром до нескольких сотен метров. Сеноманские известняки являются водопоглощающими, поэтому на поверхности они могут быть безводными, а с глубиной их водообильность может возрастать.

Водовмещающими породами альбского водоносного горизонта являются трещиноватые известняки верхней части альбского яруса. Мергели или мергелистые известняки в нижней части разреза служат нижним водоупором. В связи с трещиноватостью известняков этот водоупор является относительным и воды могут питать нижележащие водоносные горизонты. Поскольку этот горизонт не имеет верхнего водоупора, он может быть гидравлически связан с трещинными водами сеномана и

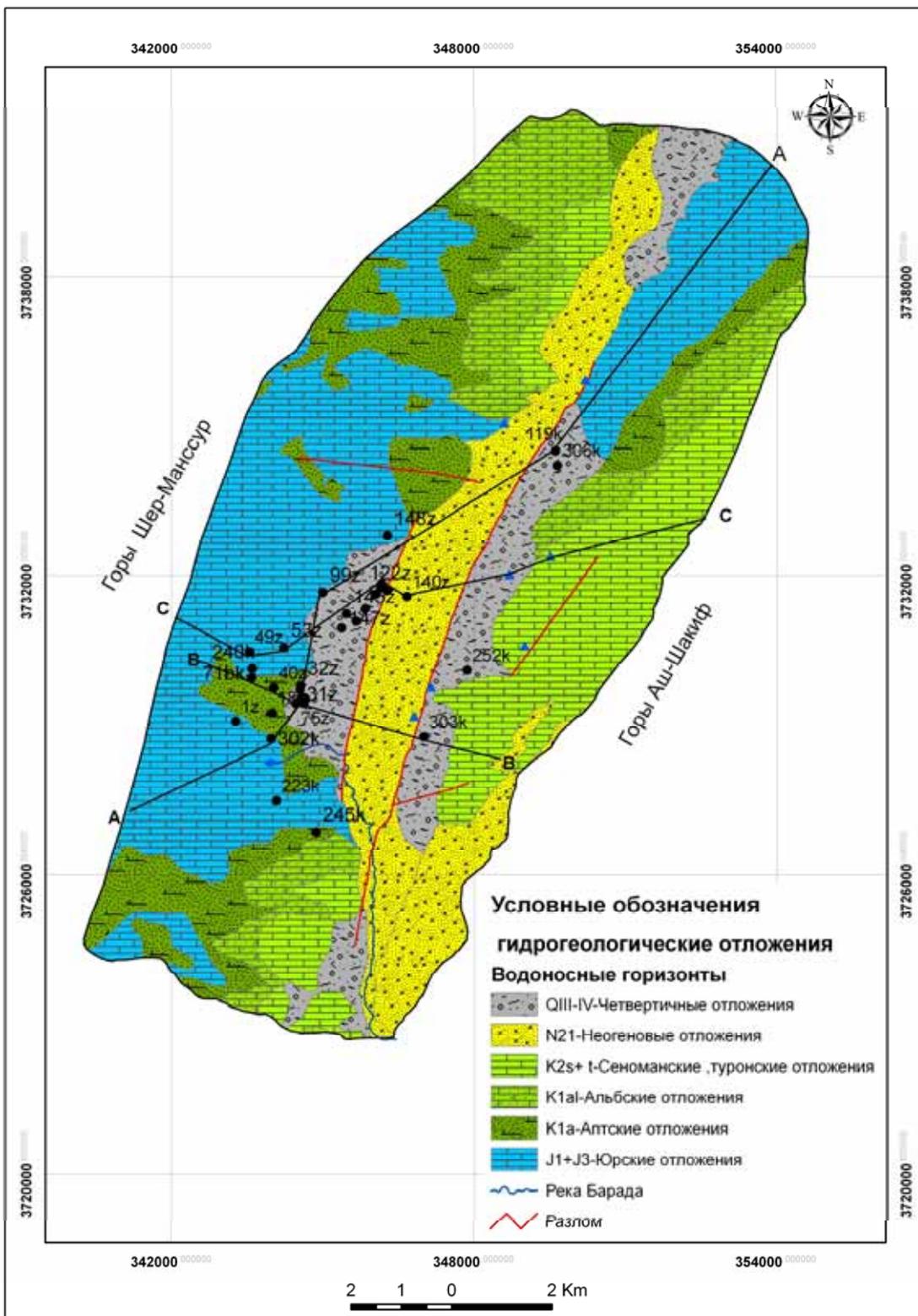


Рисунок 1.
Схематическая гидрогеологическая карта района Забадани

образует с ним один водоносный комплекс. Воды этого горизонта выходят на дневную поверхность в виде родников. Воды гидрокарбонатные с минерализацией 0.27 г/л.

Водовмещающими породами водоносного горизонта в доверхнеаптских отложениях являются трещиноватые песчаники, имеющие относительно высокую пористость. Линзы глин и мергелей, залегающие в нижних частях разреза доверхнеаптских отложений, служат нижним водоупором. Воды родников пресные, прозрачные и без запаха.

Водовмещающими породами юрского водоносного горизонта являются верхнеюрские известняки и доломиты, структура которых часто нарушается разрывами и литологическими окнами. Эти отложения являются основным водоносным горизонтом на изучаемой территории, питающим серии родников, имеющих, как правило, высокие дебиты. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков по трещинам и карстовым поверхностям. Этот горизонт питает два родника: Барада и Кфер-Ябус. Родник Барада (1.2 м³/с) расположен у подножия гор Шер-Мансур в юго-западной части грабена Забадани и относится к восходящему типу родников (рис. 2).

Главной особенностью режима уровня подземных вод изучаемого региона является ярко выражения сезонная цикличность его изменения. Обращает на себя внимание заметное смещение максимальных уровней по отношению к времени выпадения осадков.

Этот эффект связан, видимо, с тем, что в горных районах значительная часть атмосферных осадков выпадает в виде снега, сохраняющегося в отдельные годы на протяжении нескольких месяцев, и следовательно, пик уровней подземных вод связан со снеготаянием.

Глава 2. Анализ влияния факторов, определяющих формирование подземных вод на изучаемой территории

Сложность геологического и гидрогеологического строения территории обусловили необходимость дополнительного изучения территории с привлечением различных методов анализа условий формирования водоносных горизонтов.

Палеогидрогеологические условия формирования подземных вод. По северной части сброса Сергая заложен грабен Забадани, по восточной ветви сброса сформирован тектонический уступ, выраженный моноклиной Аш-Шакиф, где вскрыты породы от келловейского возраста до нижней части сеномана .

Грабен Забадани сформирован сопряженными разломами Сергая. Амплитуда погружения, по геофизическим материалам, составляет несколько сотен метров. Грабен

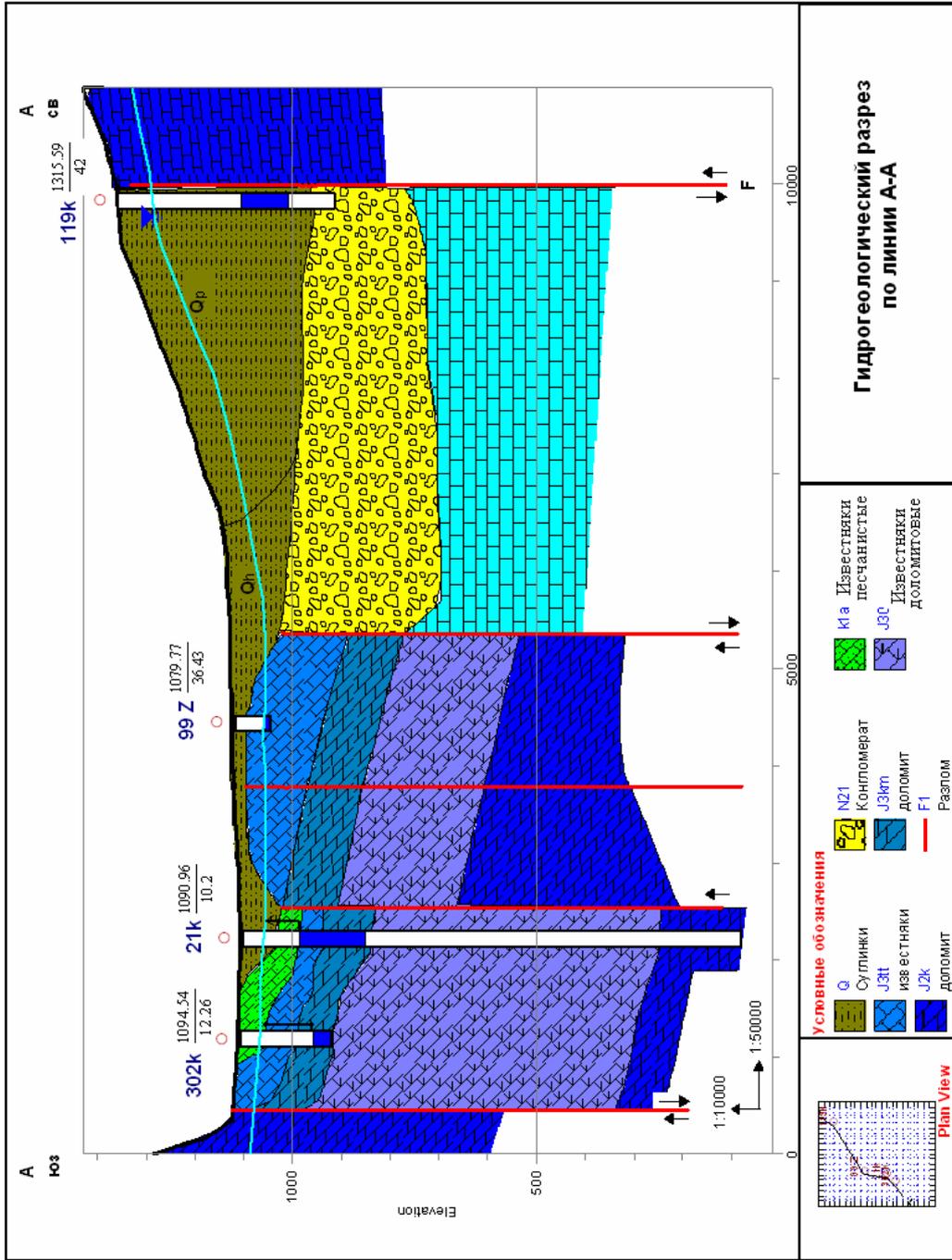


Рисунок 2. Гидрогеологический разрез по линии А-А

выполнен мощной толщей отложений неоген–четвертичного возраста, слагающими на отдельных участках и его борта. Внутреннее строение грабена, по-видимому, ступенчатое, состоящее из серии последовательно погружающихся блоков.

Протяженность грабена более 20 км, ширина от 2 до 4 км.

Основные черты геологического развития

Условия геологического развития территории прослеживаются лишь с юрского времени (140 – 200млн. лет). О палеогеографической обстановке более раннего периода можно судить только предположительно, на основании данных по геологическому строению близлежащих областей.

В мезо-кайнозойскую эру выделяются два резко отличных периода в истории геологического развития: преимущественно морской на протяжении всего мезозоя и палеогена, с преобладанием дифференцированного прогибания; и континентальный, установившийся с неогена, характеризующийся восходящими движениями, которые сопровождались в отдельных частях платформы складчатыми деформациями и мощной вулканической деятельностью.

На протяжении всего юрского периода сохраняются морские условия, проходит накопление мощной толщи карбонатных пород-доломитов, известняков, мергелей.

Первые признаки начала очередной трансгрессии, вызванной переменной направлением тектонических движений, находятся в отложениях апта, когда начинает накапливаться толща пестрого литологического состава– кварцевые песчаники, глинистые и карбонатные осадки.

Режим палеогенового морского бассейна также не был стабильным - в олигоцене происходит общая регрессия моря. В конце палеогена – начале неогена начался орогенный этап развития территории, который на протяжении кайнозоя привел к формированию современных горно-складчатых сооружений, внутригорных впадин и прогибов.

В неогеновое время происходит формирование основных пликативных структур, соответствующих системам горных хребтов и внутригорных впадин, а также заложение грабена Забадани. В четвертичный период продолжаются тектонические движения, по вертикальной составляющей, сопровождающиеся ростом горных массивов, заложение и формирование долин основных водотоков. Автором построен схематический график амплитуд тектонических колебаний на изучаемой территории за период от J-Q.

Основные результаты геофизических исследований: - Установлено, что главным опорным электрическим горизонтом являются породы юрского и мелового возраста. Он выходит на поверхность земли в западной части горного района и погружается в восточном направлении на глубину до 700 метров; - Трещины выявлены с высокой точностью в западном секторе района, ширина области трещиноватости 500–1500м, где отмечается самая

трещиноватая зона на глубине 150-300м.- В результате получена глубина залегания мелово-юрского комплекса: на западе территории она составляет примерно 1.5–2 км, на востоке – 1.75 – 2.75 км; - Формирование тектонических складок в цепи гор Западного Ливана обусловило наличие восходящих потоков подземных вод из юрского водоносного горизонта.

Изучение гидрогеологических условий района с применением гидродинамического анализа

В гидрогеологическом строении изучаемого района можно выделить два водоносных комплекса :неоген – четвертичный и юрско – меловой, первый распространен преимущественно на равнине Забадани, второй практически на всей изучаемой территории, первый водоносный комплекс – безнапорный, а второй – напорный, но в местах выхода его на поверхность земли верхняя его часть безнапорная. Водоносные комплексы гидравлически связаны между собой, между ними нет постоянного водоупора, и поэтому они характеризуются единым уровнем подземных вод.

Оценка *инфильтрационного питания* подземных вод на основе анализа режимных наблюдений за изменениями глубин залегания их уровня с течением времени проводилась по нескольким скважинам, расположенных в центре района, инфильтрационное питание подземных вод формируется в основном за счет атмосферных осадков, наибольший процент атмосферных осадков, достигающих подземные воды, отвечает времени сезона дождей в зимний период, когда в результате низкого испарения и высокой влажности почв, количество осадков самое высокое.

Режим подземных вод. Изученность особенностей естественного режима движения подземных вод под влиянием природных и антропогенных факторов позволила принять положение уровня подземных вод за 01.09. 2006 год как наиболее полное и достоверное для построения карты гидроизогипс с помощью программы (Surfer 9), что обеспечило достижение наилучшего соответствия между измеренными и расчетными уровнями подземных вод при математическом моделировании.

Гидрогеохимический анализ. Наблюдения за качеством подземных вод в районе Забадани проводились параллельно с режимными наблюдениями за изменениями уровня подземных вод. На мелиорируемых сельскохозяйственных землях, расположенных к югу от города Забадани, образовались сточные воды, повлиявшие на качество подземных вод.

Минерализация воды колеблется от менее 0.4 г/л в юрском и меловом водоносных горизонтах до более чем 0.5 г/л в неогеновом и четвертичном водоносных горизонтах и увеличивается до более 1 г/л в южной части города Забадани из-за загрязнения сточными водами. Результаты бактериологических анализов показали, что все пробы, взятые из колодцев, загрязнены. Степень загрязнения подземных вод небольшая в юрских, меловых и неогеновых водоносных горизонтах (менее 1000-4000 бактерий/100мл), но в некоторых

скважинах наблюдаются высокие значения (10000-15000 бактерий/100мл), в четвертичных водоносных горизонтах количество бактерий возрастает до 10000-30000 в скважинах на равнине Забадани. Некоторые пробы, взятые из реки Барада, содержат сильно загрязненные воды, из-за коммунально-бытовых стоков, сбрасываемых в реку.

Геолого-гидрогеологическое районирование изучаемой территории. С целью обобщения геологических и гидрогеологических условий для оценки защищенности подземных вод от загрязнения было осуществлено геолого-гидрогеологическое районирование этой территории. Территория Забадани разделена на 8 типовых районов в зависимости от литологического строения отложений зоны аэрации и глубины залегания подземных вод.

Глава 3. Уточнение гидродинамических параметров водоносных комплексов методом математического моделирования

Несмотря на небольшие по площади размеры изучаемого района и, казалось бы, достаточную степень геолого-гидрогеологической изученности, следует отметить разнородность и неоднозначность материалов изучения различными компаниями. В связи с этим возникла необходимость дополнительных гидрогеологических исследований этого района с точки зрения установления гидрогеологических параметров основных водоносных горизонтов для последующего обоснования и оптимизации водоотбора из водоносных горизонтов с целью водоснабжения населения. Одним из наиболее перспективных методов для решения этой задачи является метод математического моделирования процессов геофильтрации.

Математическое моделирование геофильтрации. В результате анализа ряда известных математических моделей, широко используемых в практике гидрогеологических исследований в мире, была выбрана цифровая модель Visual Modflow V 4.2.

Геофильтрационная модель равнины Забадани построена на основе геологических, геофизических и гидрогеологических данных, полученных советскими специалистами в 1986г. Основные исходные данные: гидрогеологическая и геологическая карты масштаба 1:100000; карта абсолютных отметок опорного электрического горизонта - подошвы четвертичных и неогеновых отложений масштаба 1: 50000; глубина залегания опорного электрического горизонта, определенная по данным ВЭЗ и увеличивающаяся с востока на запад и к внутренней части равнины до 600м; база данных скважин, пробуренных на равнине Забадани; представление об основной разрывной тектонической структуре - грабене Забадани, сформировавшейся в результате региональных разломов, расширяющихся с севера на юг (самые главные тектонические разломы Сергая, Забадани, Ил-Рамли и восточный разлом Рашая); глубины залегания подошвы юрских и меловых отложений установленные

по результатам предварительной интерпретации гравиметрической карты масштаба 1: 200000, выполненной в 1974 г Сирийской нефтяной компанией; комплект геолого – гидрогеологических разрезов.

В результате анализа геолого – гидрогеологических условий равнины Забадани принята гидрогеологическая расчетная схема, представляющая собой два водоносных комплекса без отдельного слоя в районе грабена Забадани и два водоносных горизонта без отдельного слоя с единым уровнем подземных вод по двум бортам грабена: Q+N водоносный комплекс слагает грабен Забадани между разломами Сергая и Ил-Рамли, сложен толщей пород, состоящей из конгломератов, глин, глинистых песков, мергелей и суглинков мощностью более 500 м, подземные воды безнапорные; J+K водоносный комплекс залегает под Q+N водоносным комплексом в грабене и представлен известняками, трещиноватыми доломитами, подземные воды напорные. Гидравлические эти два комплекса связаны между собой и имеют единый уровень подземных вод, что подтверждено данными опытно-фильтрационных работ и геофизических исследований.

В бортовых частях грабена на востоке горы Аш-Шакиф и на западе горы Шер-Манссур меловой водоносный горизонт залегает на юрском, горизонты гидравлически связаны, в верхней части воды безнапорные (К), в нижней – напорные (J), имеют общий уровень, водоупор между водоносными горизонтами практически отсутствует. Общий вид геофильтрационной модели приведен, и представляет собой три части: восточную, центральную и западную.

Граничные условия. В зависимости от принятой геофильтрационной модели и вида потока подземных вод, верхнего и нижнего водоносных слоев для объекта исследований приняты следующие граничные условия: *граничные условия второго рода* ($ГУ II - Q = 0$) задавались во всех граничных ячейках модели (водораздел) нулевым расходом в первом и втором водоносных горизонтах; *граничные условия второго рода* ($ГУ II - Q = const.$) задавались в виде расходов источников (родников) и инфильтрационного питания на всей площади; *граничные условия первого рода* ($ГУ I - H = const.$) задавались как отметки уреза воды в реке Барада.

Начальные условия расчетной модели сгруппированы в два типа: *физическая структура модели*, которая определяет геометрию системы (отметки поверхности земли, подошвы первого и второго слоев); *гидродинамическая структура модели* определялась начальным положением уровня грунтовых вод, совпадающим с напорами подземных вод и задавалась по исходной карте гидроизогипс.

Гидрогеологические параметры

Коэффициент фильтрации. Согласно опытным откачкам, колебания горизонтальных коэффициентов фильтрации верхнего водоносного слоя находились в диапазоне от 0.09 (для глинистых песков, песчаников, плотных известняков и доломитов) до 183 м/сут (трещиноватых, кавернозных и пористых песчаников, известняков, доломитов). Для нижнего водоносного слоя этот диапазон составил 0.2–183 м/сут) в зависимости от состава водовмещающих пород. Вертикальные коэффициенты фильтрации для верхнего водоносного слоя изменялись от 0.3 до 16 м/сут, а для нижнего слоя они были приняты постоянными и равными 1м/сут.

Математическая модель описывает поток в трех измерениях и реализуется программой Visual Modflow. Калибровка модели при *стационарной фильтрации* осуществлялась путем сравнения пьезометрических (фактических) уровней подземных вод с расчетными уровнями, полученным по данным моделирования (рис.3).

В процессе калибровки было установлено, что инфильтрационное питание было самым чувствительным параметром, который претерпел значительные изменения при решении обратной задачи для достижения наилучшего соответствия между фактическими и расчетными уровнями подземных вод как это показано на рисунке 3. Гористость и высокая расчлененность рельефа, сложность геологического и тектонического строения территории, высокая трещиноватость, кавернозность и пористость водовмещающих пород обусловили практически полное поглощение ими поверхностного стока, сформированного за счет атмосферных осадков, в весенний и осенний периоды при слабом испарении. В связи с этим величины инфильтрационного питания, и особенно на территориях вблизи водораздела, задавались близкими к величинам атмосферных осадков (исходная карта гидроизогипс построена на сентябрь 2006 г.).

В результате моделирования была построена карта модельных уровней (рис. 3) и получен водный баланс модели. Сравнение модельных уровней с фактическими показало, что среднее расхождение по площади модели равно 2.3 м, ошибка моделирования составила 3%.

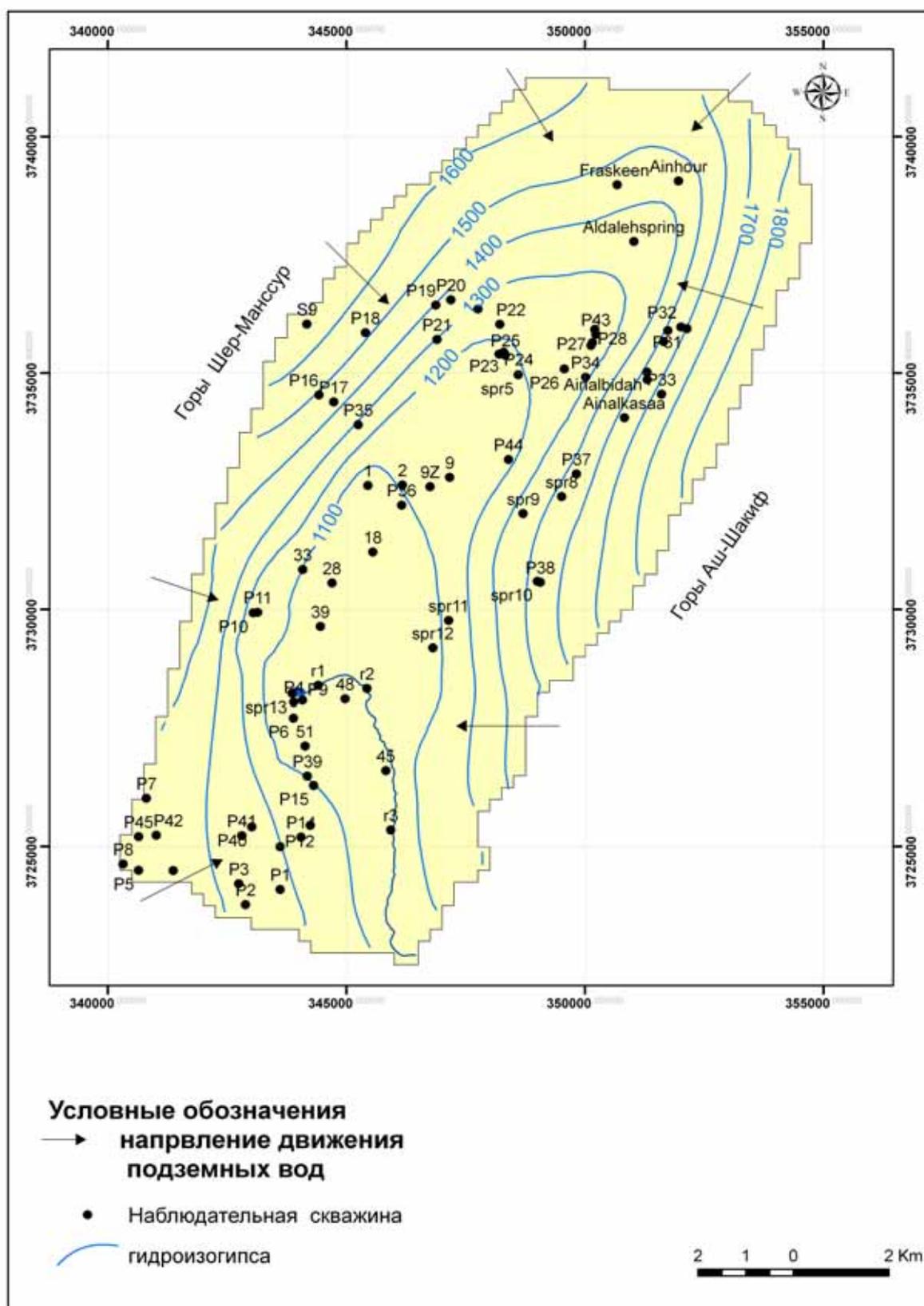


Рисунок 3. Схематическая карта модельных статических уровней подземных вод

Анализ водного баланса, полученного при моделировании, показал, что естественные ресурсы первого и второго водоносных комплексов составляют 3.44 м³/с при средней величине атмосферных осадков на 2006 равной 714 мм/год, из которых 3.14 м³/с приходится на инфильтрационное питание (табл.1), 0.3 м³/с на испарение и остается еще глубинный расход в количестве 0.9 м³/с, который не дренируется рекой Барада и который дополнительно можно использовать для целей водоснабжения.

Таблица 1. Анализ баланса подземных вод по данным моделирования на 2006 г

Элемент баланса	
Приход	Расход
Инфильтрационное питание W=3.14 м ³ /с	Река Брада Q _р =1.94 м ³ /с
	Испарение E=0.3 м ³ /с
	Расход, недренированный рекой Барада Q _{гд} = 0.9 м ³ /с
Всего=3.14 м ³ /с	Всего=3.14 м ³ /с

Математическое моделирование стационарной фильтрации позволило уточнить гидрогеологические параметры и инфильтрационное питание, которые были использованы для решения прогнозных и оптимизационных задач.

Глава 4. Анализ перспектив использования подземных вод для водоснабжения

г. Дамаска

Для оценки перспектив использования подземных вод для водоснабжения в первую очередь необходимо выбрать на изучаемой территории наиболее благоприятные с точки зрения гидрогеологических условий (водообильность водоносных горизонтов), естественной защищенности (подземные воды в верхней своей части являются грунтовыми) от источников загрязнения, находящихся на поверхности земли, и техногенной нагрузки участки для размещения водозаборов.

С этой целью были произведены следующие оптимизационные процедуры:

1. Выбраны перспективные участки с точки зрения гидрогеологических условий на основе решения задачи стационарной фильтрации;
2. Оценена естественная защищенность подземных вод в пределах выбранных участков;
3. Оценены условия уязвимости подземных вод к техногенной нагрузке (загрязнение бактериями);
4. Окончательно установлены наиболее перспективные площади в пределах выделенных участков с учетом их оптимизации после трех выше приведенных итераций.

Оптимизация территории по благоприятным гидрогеологическим условиям расположения водозаборов

Благоприятными условиями для расположения водозаборов на территории равнины Забадани считались те условия, которые обеспечивали возможность наибольшего

водоотбора (водообильности) пресных подземных вод. Параметром, характеризующим степень водоотбора, является водопроницаемость водоносных горизонтов, которая и была уточнена по данным решения стационарной задачи.

Для выявления территорий с наибольшими значениями водопроницаемости были использованы: - карта водопроницаемости первого водоносного комплекса, построенная по данным моделирования стационарной фильтрации, показавшая, что водопроницаемость колеблется от незначительных величин (грабен Забадани) и до высоких на западе территории, где наблюдается высокая трещиноватость водовмещающих пород; - карта водопроницаемости второго водоносного комплекса, здесь на 70 % площади территории водопроницаемость меньше, чем на западной части изучаемого района.

Карта суммарной водопроницаемости построена путем совмещения этих двух карт с использованием ГИС технологий, на которой выделены четыре категории суммарной водопроницаемости. Выделено пять перспективных участков для использования подземных вод для водоснабжения.

Оптимизация перспективных участков для размещения водозаборов по степени их природной (естественной) защищенности от поверхностного загрязнения

В данной работе при оценке защищенности подземных вод от загрязнения использовалась методика, разработанная Белоусовой А.П.

Оценка естественной защищенности подземных вод на изучаемой территории обусловлена тем, что верхняя часть водоносных комплексов является безнапорной, т.е. приобретает облик грунтовых вод. Их естественная защищенность будет определяться степенью перекрытости слабопроницаемыми отложениями, которая характеризует защитный потенциал защитной зоны, который отражен на карте защитной зоны.

В результате совмещения промежуточных карт с использованием ГИС технологий получена базовая карта (схематическая) защитной зоны, на которой выделены типовые участки с определенным строением защитной зоны и глубиной залегания грунтовых вод и показаны категории защитного потенциала защитной зоны. На карте защитной зоны выделено 5 категорий защитного потенциала защитной зоны: чрезвычайно слабый защитный потенциал (порядка 15% процентов территории центральной части грабена), очень слабый защитный потенциал (1-2%), слабый защитный потенциал (30% предгорья), средний защитный потенциал (1-2%) , высокий защитный потенциал (порядка 50% -горная территория).

Следующим этапом является *оптимизация перспективных участков с учетом их естественной защищенности* (на основе природных показателей).

Для этого построена карта перспективного использования подземных вод на основе природных показателей. Эта карта построена путем наложения схематической карты суммарной водопроницаемости и карты защитной зоны. На карте перспективного использования подземных вод для водоснабжения (на основе природных показателей) выделено 4 категории перспективности подземных вод для водоснабжения.

Оптимизация перспективных участков для размещения водозаборов по степени их уязвимости к загрязнению

По данным анализа гидрогеохимической обстановки в водоносных горизонтах на исследуемой территории установлено, что в них присутствует загрязнение бактериями и колиформными формами, обусловленное использованием сточных вод для ирригационных целей.

Защищенность подземных вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта. Построение схематической карты защищенности подземных вод от загрязнения бактериями производилось на основе карты защитной зоны по методике А.П. Белоусовой. При оценке защищенности подземных вод от загрязнения бактериями использовалось предположение, что бактерии мигрируют в защитной зоне как нейтральные загрязняющие вещества, т.е. они не вступают в физико-химические взаимодействия в системе «порода - вода» или степень взаимодействия настолько мала, что эффект от него практически незаметен, о чем свидетельствуют, как литературные данные, так и данные наблюдений за бактериологической обстановкой на изучаемой территории. Учитывая тот факт, что для бактериологического загрязнения не существует ПДК, то оно не должно присутствовать в подземных водах ни в каких количествах.

Таким образом, для расчета времени миграции бактерий (t_3) через защитную зону был использован механизм движения нейтрального вещества, который описывается схемой «поршневого вытеснения». Время миграции бактерий (t_3) рассчитывалось для каждого типового участка, выделенного на карте защитной зоны.

Шкала категорий защищенности подземных вод от загрязнения нейтральными веществами (бактериями) составлена в зависимости от времени жизни бактерий, принятому за 400 суток. Выделяются следующие категории: – чрезвычайно сильно незащищенные подземные воды: t_3 , 0-10сут; – очень сильно незащищенные подземные воды: t_3 , 10-20 сут; – сильно незащищенные подземные воды: t_3 , 20-50 сут; – незащищенные подземные воды: t_3 , 50-100 сут; – слабо защищенные подземные воды: t_3 , 100-200 сут; – защищенные подземные воды: t_3 , 200-300 сут, очень защищенные подземные воды: t_3 , 300-400.

В результате получено, что практически вся территория изучаемого региона характеризуется неблагоприятными условиями по отношению к защищенности подземных вод от бактериального загрязнения. Расчет времени продвижения загрязняющего вещества через защитную зону по существу является приближенной прогнозной оценкой процесса загрязнения подземных вод в данном случае нейтральными веществами – бактериями (и может использоваться для других нейтральных загрязняющих веществ).

Оценка уязвимости подземных вод к загрязнению бактериями. Отношение реальной техногенной нагрузки изучаемой территории к защищенности подземных вод называется уязвимостью подземных вод

Карта уязвимости подземных вод от загрязнения бактериями построена путем совмещения карты защищенности и техногенной нагрузки, отраженной на двух картах: структуры землепользования и бактериального загрязнения. Выделены следующие категории уязвимости подземных вод к загрязнению бактериями: очень сильно уязвимые, сильно уязвимые, средне уязвимые, слабо уязвимые, неязвимые, высоко неязвимые.

Оценка перспектив использования подземных вод для водоснабжения (с учетом техногенных факторов)

Карта перспективного использования подземных вод для водоснабжения (с учетом техногенных факторов) построена на основе карты уязвимости подземных вод и карты суммарной водопроницаемости. Выделены следующие категории участков перспективного использования подземных вод для водоснабжения: неперспективные, слабо перспективные, средне перспективные, перспективные, высоко перспективные (рис. 4).

Проведенная оптимизация перспективных участков с учетом природных и техногенных ограничений показала, что только незначительная территория может быть использована для расположения водозаборов пресных подземных вод.

В случае благоприятной экологической обстановки (запрет использования сточных вод) на изучаемой территории, следует рекомендовать в качестве перспективных участков для использования в целях водоснабжения, участки, выделенные с учетом природной защищенности (исключая техногенные факторы).

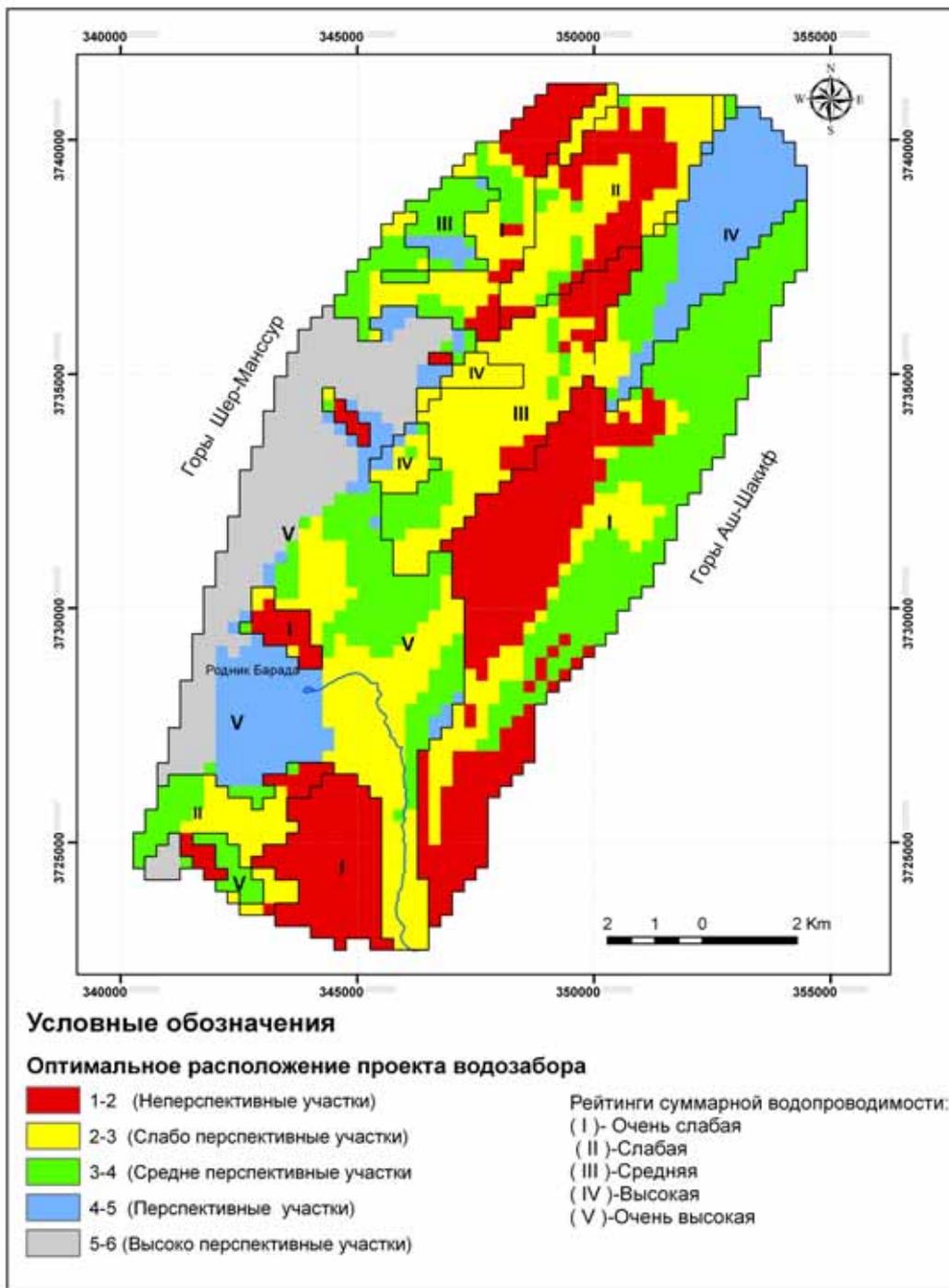


Рисунок 4. Схематическая карта перспективного использования подземных вод для водоснабжения (с учетом техногенных факторов)

Глава 5. Рекомендации по размещению водозаборов пресных подземных вод на изучаемой территории

Оптимизация работы водозаборов на перспективных участках, выбранных на основе анализа закономерностей формирования подземных вод и результатах моделирования стационарной фильтрации и условий защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению проводилась в следующей последовательности: на двух перспективных участках для расположения водозаборов подбирался оптимальный для каждого водозабора водоотбор на основе решения задачи нестационарной фильтрации; оценивалась возможность подтягивания фронта загрязненных бактериями подземных вод к работающему с оптимальным расходом водозабору на основе решения миграционной задачи. Для этого первоначально устанавливались значения миграционных параметров водоносных горизонтов, а затем решалась сама задача миграции при нестационарном режиме фильтрации.

В результате исследований, изложенных в главе 4, на изучаемой территории были выделены два высоко перспективных участка для расположения водозаборов: Северо-Восточный, расположенный северо-восточнее Города Блюдан, 10.13 км² и Юго-Задный, расположенный в предгорье Шер-Манссур, захватывающий родник Барада и имеющий площадь 32.4 км². На Юго-Западном участке были выбраны пять мест для расположения водозаборов (скважины 1 - 5), а на Северо-Восточном одно место (скважина 6).

Для каждого проектного (условного) водозабора, представленного одной скважиной, вскрывающей второй водоносный горизонт гидравлически связанный с первым водоносным горизонтом, подбирался оптимальный водоотбор, позволяющий ему работать с максимальным расходом при условии недопущения снижения уровней в водоносном горизонте ниже допустимого, нанесения ущерба роднику Барада и речному стоку реки Барада. Подбор осуществлялся путем решения нестационарной задачи фильтрации по программе Visual Modflow.

Водоотбор варьировался от максимальных значений, соответствующих глубинному расходу, который установлен по водному балансу при решении стационарной задачи (0.9 м³/с), до значений, при которых не происходит негативных последствий от водозабора. При решении задачи нестационарной фильтрации каждый водозабор работал отдельно, все вместе не подключались.

В таблицах 2 и 3 приведены результаты оптимизации водоотбора из водозаборных скважин на двух перспективных участках.

Анализ данных решения нестационарной задачи (табл. 2 и 3) показал, что наиболее перспективным является водозабор № 2 (скважина W₂), расположенный на Юго-Западном

участке, с оптимальным водоотбором 80000 м³/сут, отвечающим величине Q_{гл} из водного баланса (табл. 1). При увеличении водоотбора из этой скважины до 90000 м³/сут наносится ущерб роднику Барада, уровень которого опускается на 0.1 м ниже поверхности земли, что в свою очередь наносит ущерб и стоку реки Барада.. Этот перспективный водозабор может быть использован для водоснабжения г. Дамаска.

Остальные водозаборы могут обеспечить значительно меньший расход при достаточно большом понижении до 160м. Эти водозаборы могут быть использованы для водоснабжения на изучаемой территории.

Водозабор, расположенный на Северо - Восточном участке, может обеспечить водоотбор до 40000 м³/сут при понижении порядка 160 м является более перспективным, чем водозаборы № 1, 3 – 5 и может быть использован для водоснабжения городов Блюдан и Забадани.

Таблица 2. Оптимизации водозаборов на Юго-Западном участке

№ скважины	Расход м ³ /сут	Понижение (м)			Примечания
		Расчетное время (лет)			
		10	20	25	
W ₁	10000	25	30	40	
	11000	40	42	45	
	13000	45	50	58	
W ₂	80000	1	2	3	Оптимальный водоотбор Ущерб роднику Барада (уровень снизился на 0.1 м. ниже поверхности земли) и реке Барада
	90000	1	3	6	
W ₃	20000	100	110	120	
	25000	140	150	160	
	40000	200			
W ₄	100000	200			Превышение допустимого понижения
W ₅	10000	20	30	40	
	15000	40	50	60	
	20000	70	75	80	

Для установления возможности загрязнения подземных вод на участках, перспективных для размещения водозаборов, в процессе их эксплуатации было необходимо оценить параметры миграции загрязняющих веществ – бактерий, которыми загрязнены подземные воды на изучаемой территории.

Для моделирования процесса миграции бактерий в подземных водах была выбрана модель MT3DMS, которая согласуется с используемой нами ранее (глава 3) транспортной моделью VISUAL MODFLOW.

Первоначально на базе решения задачи стационарной фильтрации были уточнены параметры миграции бактерий в водоносных горизонтах. Для этого использовались данные об изменении концентрации бактерий в скважине № 51 за 120 суток.

Таблица 3. Оптимизации водозаборов на Северо-Восточном участке

№ скважины	Расход м ³ /сут	Понижение (м)			Примечания
		Расчетное время (лет)			
		10	20	25	
W ₆	25000	80	90	100	
	30000	100	115	120	
	40000	140	150	160	

Основными параметрами миграции являются коэффициенты распределения, характеризующие процесс сорбции загрязняющих веществ (K_d), времена их распада, значения коэффициентов продольной, горизонтальной и вертикальной гидродисперсии. Время прогноза для модели было принято 120 суток, шаг по времени 20 суток.

Путем перебора значений коэффициента распределения и достижения на конечный расчетный срок значений концентраций бактерий на последний срок наблюдений было установлено значение этого коэффициента, равное 10^{-12} л/мг, которое свидетельствует о практической несорбируемости бактерий водовмещающими породами, и которое было использовано в дальнейших расчетах при нестационарной фильтрации.

В условиях стационарной фильтрации с полученными значениями параметров миграции бактерий было проведено моделирование этого процесса на изучаемой территории. Моделирование выполнено с использованием метода Upstream Finite Difference, этот метод обеспечивает устойчивое решение модели миграции загрязняющих веществ относительно короткого расчетного времени. По результатам моделирования показано, что фронт загрязнения за расчетное время в условиях стационарной фильтрации продвинулся в направлении реки Барада, хотя территории перспективных участков не затронул.

Для выбранных перспективных участков и расположенных на них водозаборах с оптимальными водоотборами из них решалась задача нестационарной фильтрации при условии возможного подтягивания загрязненных бактериями подземных вод к ним с

использованием трехмерной модели MT3DMS с выше приведенными параметрами миграции бактерий.

Прогноз миграции бактерий выполнялся на 400 суток – время жизни бактерий с расчетным шагом 20 суток, практически все водозаборы не будут подвержены загрязнению кроме водозабора № 2 (скважина W_2), где возможно загрязнение.

Водозабор №2 является с точки зрения гидродинамических характеристик и водоотбора наиболее перспективным, но с точки зрения прогнозного загрязнения – неперспективен. При условии запрещения использования сточных вод для орошения территории прилегающих к водозабору он может быть использован для целей водоснабжения г. Дамаска.

Заключение

На изучаемой территории выделено две гидрогеологические структуры: межгорный бассейн и поверхностные обводненные разломы. Грабен Забадани представляет собой межгорный бассейн, заполненный обломочным материалом (конгломераты, галечники и обломки известняков).

Сложность гидрогеологических условий определена историей геологического развития района. Начало формирования основных водоносных горизонтов (Q+N,K+J), содержащих пресные подземные воды, связано с процессами регрессии моря в юрское и меловое время. Это формирование проходило на фоне активной тектонической деятельности, сопровождавшееся образованием основной тектонической структуры района — грабена Забадани и многих тектонических разломов, которые играют решающую роль в формировании гидрогеологических условий.

Разнородность и неоднозначность материалов изучения различными компаниями вызвали необходимость дополнительных гидрогеологических исследований этого района с точки зрения установления гидрогеологических и гидродинамических параметров основных водоносных горизонтов для последующего обоснования и оптимизации водоотбора из водоносных горизонтов с целью водоснабжения населения. Одним из наиболее перспективных методов для решения этой задачи является метод математического моделирования процессов геофильтрации.

Математическое моделирование выполнено с использованием цифровой модели Visual Modflow.

В результате анализа геолого – гидрогеологических условий равнины Забадани принята гидрогеологическая расчетная схема, представляющая собой два водоносных комплекса без отдельного слоя в районе грабена Забадани и два водоносных горизонта без отдельного слоя с единым уровнем подземных вод по двум бортам грабена:

В результате моделирования была построена карта модельных уровней по состоянию на 01.09.2006 г. и получен водный баланс модели, уточнены гидрогеологические параметры и инфильтрационное питание. Сравнение модельных уровней с фактическими показало, что среднее расхождение по площади модели равно 2.3 м, ошибка моделирования составила 3%.

Проведенная оптимизация перспективных участков с учетом природных и техногенных ограничений показала, что только незначительная территория может быть использована для расположения водозаборов пресных подземных вод.

Оптимизация работы водозаборов на перспективных участках, выбранных на основе анализа закономерностей формирования подземных вод и результатах моделирования стационарной фильтрации и условий защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению проведена в следующей последовательности:- на двух перспективных участках для расположения водозаборов подбирался оптимальный для каждого водозабора водоотбор на основе решения задачи нестационарной фильтрации; - оценивалась возможность подтягивания фронта загрязненных бактериями подземных вод к работающему с оптимальным расходом водозабору на основе решения миграционной задачи. Для этого первоначально были установлены значения миграционных параметров водоносных горизонтов, а затем решалась сама задача миграции при нестационарном режиме фильтрации.

В результате решения задач нестационарной фильтрации и миграции бактерий в водоносном горизонте был выбран водозабор №:2 как наиболее перспективный с точки зрения гидродинамических характеристик и водоотбора, но с точки зрения возможного загрязнения – неперспективен. Запретить использование сточных вод для орошения территории прилегающих к водозабору, что позволит использовать его для целей водоснабжения г. Дамаска.

Полученные результаты моделирования позволят принимать предварительные инженерные решения с целью определения перспективных для водоснабжения территорий и планировать детальные гидрогеологические исследования на этих территориях для решения конкретных задач водоснабжения г. Дамаска.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Характеристика гидрогеологических условий равнины Забадани (Юго-Западная Сирия) // Изв. Вузов. Геология и разведка. М.: 2008, № 4. С.61-64.
2. Построение геофильтрационной модели равнины Забадани и ее калибровка (Юго-Западная Сирия) // Изв. вузов. Геология и разведка. М.: 2009, № 2. С.34-38.
3. Условия водообеспечения пресными подземными водами района Забадани в Сирии // VII Международный конгресс "Вода: экология и технология" «Экватэк-2006». М.: 2006. Часть 1; С.258.
4. Гидрогеологические условия месторождения подземных вод на территории равнины Забадани // VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». РГГРУ. М.: 2007. Том 8. С.191.
5. Калибровка геофильтрационной модели равнины Забадани (Сирия) // IX Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». РГГРУ. М.; 2009. Том 3. С.114.