

Размещено на <http://www.allbest.ru/>  
Федеральное Агентство по образованию Российской Федерации  
Астраханский Государственный Университет  
Естественный институт  
Геолого – географический факультет

Дипломная работа

По теме: «Оценка эксплуатационных запасов подземных вод при наличии  
привлекаемых естественных ресурсов»

Работу выполнил:

ст. 5-го курса ЗИГ-51

Башлаев С.П.

Научный руководитель:

Старший преподаватель

Соловьева А.В.

АСТРАХАНЬ 2013 г.

## Содержание

Введение

Глава I. Ресурсы и запасы подземных вод

1.1 Общее понятие о ресурсах и запасах

1.2 Разновидности ресурсов

1.3 Запасы подземных вод

Глава II. Оценка ресурсов подземных вод

2.1 Виды работ и методы определения региональных ресурсов

2.2 Районирование территорий в связи с региональной оценкой прогнозных эксплуатационных ресурсов

2.3 Виды работ, выполняемые в связи с региональной оценкой эксплуатационных ресурсов

2.4 Методика оценки прогнозных региональных эксплуатационных ресурсов

2.4.1 Гидродинамический расчет прогнозных региональных ресурсов

2.4.2 Оценка прогнозных региональных эксплуатационных ресурсов при перетекании воды из вышележащего водоносного горизонта

2.4.3 Оценка естественных (геологических) запасов подземных вод

2.4.4 Оценка привлекаемых ресурсов

Глава III. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод

3.1 Методы определения эксплуатационных запасов

3.1.1 Гидродинамический метод

3.1.1.1 Неограниченный по площади водоносный пласт

3.1.1.2 Полуограниченный пласт

3.1.1.3 Пласт-полоса с двумя границами

3.1.1.4 Пласты с круговым контуром питания

3.1.2 Гидравлический метод

3.1.3 Совместное использование гидродинамического и гидравлического методов

3.1.4 Балансовый метод

Размещено на <http://www.allbest.ru/>

Глава IV. Использование ЭВМ при оценке запасов подземных вод

4.1 Программное обеспечение

4.2 Определение фильтрационно-емкостных свойств водоносных горизонтов

4.3 Численное моделирование гидродинамических и гидрогеохимических процессов

Заключение

Список используемой литературы

## **Введение**

Подземные воды играют существенную роль в развитии различных отраслей народного хозяйства нашей страны. В зависимости от нужд отраслей народного хозяйства все типы подземных вод распространенных в гидросфере, можно разделить на четыре группы: пресные, термальные, минеральные и промышленные.

Для этих типов подземных вод в настоящее время разработаны общие принципы и методы их разведки. Например, общим научно-методическим приемом является стадийность разведки месторождений подземных вод, что позволяет с помощью последовательных приближений выявить месторождения по результатам детальных поисков, изучить условия формирования эксплуатационных ресурсов по данным предварительной разведки и подготовить его к промышленному освоению по результатам детальной разведки объекта. К общим принципам следует также отнести принцип экономической целесообразности разведки месторождений и др.

Вместе с тем изучение каждого выделенного типа подземных вод имеет специфические особенности, главной из которых является определение основных параметров, необходимых для оценки эксплуатационных запасов. Так, для минеральных подземных вод, помимо выявления их количества на месторождении (эксплуатационные запасы), необходимо по результатам разведки качественно и количественно оценить газовый состав, а также устойчивость в процессе эксплуатации определенных полезных для бальнеологии химических компонентов.

При разведке месторождений термальных подземных вод необходимо оценить такой параметр, как теплоемкость подземных вод, а при разведке промышленных подземных вод – содержание в них (запасы) того или иного полезного компонента, извлечение которого намечается при эксплуатации. Имеется определенная специфика и в методике разведки пресных, термальных, минеральных и промышленных подземных вод, которая

заключается в принципах размещения разведочных скважин, проведении опытно-фильтрационных работ, а также в применении средств разведки. Учитывая эти обстоятельства, вполне правомерно самостоятельное рассмотрение методики поисков, разведки и оценки эксплуатационных запасов различных типов подземных.

Поскольку пресные подземные воды используются преимущественно для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов, поселков и сельскохозяйственных объектов, планомерное обеспечение этими водами народного хозяйства с учетом растущего водопотребления следует рассматривать как важнейшую социальную проблему нашего общества.

Доля подземных вод в водоснабжении городских поселений - около 35-40%; для сельских населенных пунктов - около 85%. При этом - чем крупнее город, тем, как правило, меньше доля использования подземных вод: для крупных городов (более 100 тыс.) она составляет уже только около 29%, а в наиболее крупных городах (с населением более 250 тыс. чел) в половине случаев используются только поверхностные воды (Москва, С.-Петербург, Н.-Новгород, Екатеринбург, Омск, Ростов н/Дону, Владивосток и др.).

Такая ситуация свойственна для большинства крупных городов мира и объясняется вполне прозаическими экономическими причинами. Для получения необходимого объема подземных вод питьевого качества (для водообеспечения большого города - несколько миллионов куб.м в сутки) требуется задействовать целую группу крупных месторождений на значительных площадях. Они должны быть достаточно удалены от городской территории, чтобы возможно было организовать эффективную санитарную охрану водозаборных сооружений. Создание протяженных (десятки километров) магистральных водоводов большого сечения для перегона добываемой воды в город требует огромных капитальных и эксплуатационных затрат; немаловажными в таких случаях становятся и вопросы землеотвода под такие крупные линейные инженерные сооружения.

Размещено на <http://www.allbest.ru/>

Целью данной работы является оценка эксплуатационных запасов подземных вод при наличии привлекаемых естественных ресурсов. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Изучить по литературным источникам информацию об эксплуатационных запасах подземных вод;
- 2) Изучить информацию о привлекаемых естественных ресурсах;
- 3) Изучить методы определения эксплуатационных запасов.

## **Глава I. Ресурсы и запасы подземных вод**

### **1.1 Общее понятие о ресурсах и запасах**

Понятие о ресурсах и запасах подземных вод включает различные их категории, отличающиеся как условиями формирования, так и особенностями гидрогеологических исследований, обеспечивающих обоснование той или иной категории.

Предельно четко различия этих понятий были сформулированы Биндеманом Н.Н. (1970 г.): «Правильнее говорить не о «запасах» подземных вод, а о «ресурсах» подземных вод, понимая под этим термином обеспечение в водном балансе данного района поступления подземных вод и, оставляя за термином «запасы» лишь определение тех количеств воды, которые находятся в данном бассейне или слое независимо от поступления воды и расхода, а в зависимости от его емкости». В отличие от других полезных ископаемых, запасы и ресурсы подземных вод обычно измеряются в единицах расхода.

Различия запасов и ресурсов подземных вод находят выражение в принципиально разном их изменении при эксплуатации. Природные запасы подземных вод при эксплуатации обязательно уменьшаются, так как при откачке всегда происходит понижение уровня воды и, следовательно, то или иное уменьшение ее массы в водоносном горизонте. Наоборот, естественные ресурсы подземных вод при эксплуатации не только не уменьшаются, но в ряде случаев увеличиваются. Понижение напора подземных вод в пласте при откачке может вызвать подток воды из рек, уменьшить испарение с поверхности грунтовых вод, вызвать или усилить переток воды из выше и ниже расположенных водоносных горизонтов через относительно слабо проницаемые слои, окна. Таким образом, при эксплуатации водозаборов запасы подземных вод уменьшаются, а ресурсы возрастают.

Запасы и ресурсы подземных вод можно подразделить по их генезису на следующие виды: 1) естественные запасы и ресурсы; 2) искусственные запасы и ресурсы; 3) привлекаемые ресурсы.

## **1.2 Разновидности ресурсов**

На основе ряда признаков ресурсы подразделяются по определенным группам. Прежде всего, принимаются во внимание их генезис, с учетом которого выделяют естественные и искусственные (формирующиеся под антропогенным влиянием) ресурсы.

Естественные ресурсы - это суммарная величина питания водоносного горизонта в естественных условиях (следовательно, и величина естественной разгрузки). Формирование естественных ресурсов обуславливают природные факторы (атмосферные осадки, поверхностные воды, соседние водоносные горизонты). Эти ресурсы обеспечивают расход подземных потоков, меняющийся под воздействием таких факторов.

Искусственные ресурсы обеспечиваются антропогенным влиянием за счет создания специальных водохранилищ на площади питания водоносных горизонтов или закачки (магазинирования) воды по скважинам в водоносные горизонты.

Учитывая площадь распространения, выделяют региональные и локальные ресурсы. Наряду с этими группами обособлена такая разновидность, как эксплуатационные ресурсы, за счет которых обеспечиваются запасы подземных вод при эксплуатации водоносных горизонтов.

Искусственные ресурсы подземных вод — питание водоносных горизонтов при фильтрации из каналов и водохранилищ, на площадях орошения, при целенаправленных мероприятиях по усилению их питания. Искусственные ресурсы, как и естественные, имеют размерность расхода.



Привлекаемые ресурсы — усиление питания подземных вод, вызванное образованием депрессионных воронок при эксплуатации водозаборов (возникновение или усиление фильтрации из рек, увеличение питания грунтовых вод атмосферными осадками вследствие уменьшения испарения с поверхности грунтовых вод при удалении их зеркала от поверхности земли).

При эксплуатации подземных вод используются в той или иной мере все перечисленные выше виды ресурсов подземных вод.

### **1.3 Запасы подземных вод**

По различным признакам в настоящее время выделяется также несколько групп запасов подземных вод.

Естественные запасы — масса гравитационной воды в пласте в естественных условиях. Та часть этой массы, которая может быть извлечена из напорного водоносного горизонта за счет упругих свойств воды и горных пород без осушения пласта, называется упругими запасами. При оценке запасов подземных вод для водоснабжения (пресные воды) запасы удобнее выражать не массой, а объемом воды, так как численно значения единицы массы и объема воды в этом случае достаточно близки. В такой приближенной трактовке естественные запасы равны сумме объема воды, заключенной в пласте (эти запасы иногда называют «емкостными»), и объема воды, извлекаемой в напорных условиях без осушения пласта («упругие запасы»). Величина последних по сравнению с емкостными запасами обычно составляет доли пропета.

Искусственные запасы подземных вод—это их объем в пласте, образовавшийся в результате орошения, подпора водохранилищами, искусственного заводнения пласта.

Эксплуатационные запасы подземных вод — количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом

отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления. Количество воды, о котором идет речь в приведенном выше определении, рекомендуется выражать расходом воды. Следовательно, строго говоря, речь идет не об эксплуатационных запасах, а об эксплуатационных ресурсах водоносного горизонта. С термином эксплуатационные запасы можно согласиться лишь с практической точки зрения — ГКЗ утверждает запасы полезных ископаемых (подавляющая их часть — твердые ископаемые, где термин «запасы» является точным), а не ресурсы.

Термин «эксплуатационные ресурсы» применяется при прогнозных оценках в региональном плане, как характеристика потенциальных возможностей эксплуатации подземных вод в том или ином крупном регионе.

С учетом их восполнения выделяют восполняемые запасы (при условии поступления ресурсов) и невосполняемые (при отсутствии источников их формирования). К последним принадлежат, так называемые, геологические запасы подземных вод, равные объему воды в горизонте.

Как и ресурсы, запасы с учетом площади их распространения, подразделяются на региональные и локальные, а на основе генетических признаков - на естественные и искусственные (накапливаются с участием антропогенного воздействия). Если запасы определенного горизонта восполняются частично за счет притока воды из других водоносных объектов, то поступающее из них количество воды относят к привлекаемым запасам.

Особую группу составляют эксплуатационные запасы, которые могут быть извлечены или извлекаются из эксплуатируемых водоносных объектов, прежде всего, из месторождений подземных вод с соблюдением природоохранных мероприятий (7). Как правило, эксплуатационные запасы приурочены к месторождениям подземных вод, обеспечивающим

экономически обоснованную их добычу. Степень сложности этих месторождений (или их участков) различна. В связи с этим они подразделяются на три группы.

К первой из них приурочены эксплуатационные запасы месторождений подземных вод с простыми условиями. На площади их распространения водоносные горизонты (подразделения) выдержаны по площади и строению, однородны по фильтрационным свойствам, обеспечены питанием (ресурсами) и характеризуются устойчивым кондиционным химическим составом.

Вторая группа месторождений подземных вод характеризуется сложным строением, а также сложными гидрогеохимическими и геотермическими условиями. При этом, однако, представляется возможным оценить изменения различных компонентов природной среды, применяя в ограниченных объемах специальные технологии при разведке и освоении запасов.

В третью группу входят эксплуатационные запасы месторождений с очень сложными условиями, характеризующимися невыдержанным геологическим строением, крайней изменчивостью мощностей и фильтрационных свойств водовмещающих пород, а также сложными гидрогеохимическими и геотермическими условиями. Проведение разведочных работ на таких месторождениях требует применения специальных дорогостоящих технологий, реализация которых на стадии разведки может быть технически неосуществима или экономически нецелесообразна.

Эксплуатационные запасы подразделяются на категории (А, В, С1, С2) по степени изученности условий формирования, количества и качества подземных вод, а также условий эксплуатации и подготовленности месторождений подземных вод к дальнейшему изучению или освоению.

Категория А - запасы подземных вод освоенные.

Категория В - разведанные.

Размещено на <http://www.allbest.ru/>

Категория С1 - предварительно оцененные.

Категория С2 - выявленные.

Эти категории подразделяются на промышленные, позволяющие вести эксплуатацию месторождений (А, В, иногда С1), и непромышленные (С1, С2).

По условиям освоения, хозяйственному и экономическому значению эксплуатационные запасы подразделяются на балансовые и забалансовые. К первой из этих групп относятся запасы, целесообразность использования которых установлена на основе всех геолого-экономических и санитарно-гигиенических факторов, учитываемых действующими инструктивными документами. Возможность их использования должна быть подтверждена соответствующими федеральными или территориальными органами. К забалансовым относятся запасы, использование которых на период оценки не может быть признано целесообразным по ряду причин (технико-экономическим, технологическим, экологическим).

## **Глава II. Оценка ресурсов подземных вод**

### **2.1 Виды работ и методы определения региональных ресурсов**

Выявление и оценка региональных ресурсов подземных вод проводятся безотносительно к месторождениям этих вод в связи с тем, что подобные ресурсы являются необходимой составной частью гидрогеологической характеристики любого региона. Основой для их оценки являются результаты гидрогеологических съемок, чаще всего среднего масштаба (1:200000), в том числе государственных. Получаемые при этом результаты позволяют определять модули подземного стока и их изменения в годичных циклах. Такие модули весьма информативны для расчлененных горных районов.

При оценке региональных ресурсов (естественных) одним из основных методов является расчленение гидрографов рек, в расходе которых до 20-30%, а иногда и более, приходится на подземный сток. Методы расчленения этого графика, отражающего изменение расхода реки в течение года, имеют несколько модификаций. Использование каждой из них позволяет оценить подземный расход с различной точностью (10). Расходы рек в меженные периоды характеризуют минимальную величину естественных региональных ресурсов подземных вод. Для приближения ее к истинному значению используются различные приемы, основанные на введении поправок, в том числе с учетом результатов режимных наблюдений за расходом источников (11).

Оценить естественные региональные ресурсы позволяет также балансовый метод. При этом ресурсы подземных вод принимаются равными разности объемов воды при максимальном и минимальном положениях уровней в изучаемом горизонте. Последние фиксируются в процессе режимных гидрогеологических наблюдений минимум в трех сечениях (скважинах). Время замера уровней в процессе режимных наблюдений

выбирается так, чтобы выявить его минимальное и максимальное положение не менее чем в одном цикле подъем - спад - подъем уровня. Обработка полученных данных (например, по методу конечных разностей) позволяет оценить величину питания водоносного горизонта, характеризующую его естественные ресурсы.

## **2.2 Районирование территорий в связи с региональной оценкой прогнозных эксплуатационных ресурсов**

Вопросы районирования территорий, связанные с оценкой прогнозных ресурсов подземных вод, освещены в работах Н.Н. Биндемана (1), Б.И. Куделина и др (12). При оценке ресурсов подземных вод большое значение имеет их взаимосвязь с поверхностными водами. В связи с этим, Б.В. Боровским и Л.С. Язвиным предложен подход к районированию верхней гидродинамической зоны, учитывающий эту взаимосвязь. Кроме того, при этом принимается во внимание соотношение площадей питания ресурсов подземных вод и площадей, где возможна их эксплуатация. На этой основе выделены группы районов.

Территории группы А характеризуются широким площадным распространением водоносных горизонтов, содержащих пресные подземные воды. На всей их площади возможна эксплуатация водоносных горизонтов. Площади вероятного размещения водозаборов совпадают с площадями питания водоносных горизонтов.

Районы группы Б отличаются ограниченным распространением горизонтов пресных подземных вод, причем, эксплуатация последних возможна на всей их площади. Участки расположения водозаборов не совпадают с областями питания подземных вод (замкнутые или полосообразные обводненные структуры в депрессиях). Территория питания чаще всего превышает площадь распространения водоносных горизонтов.

К группе В относятся такие территории, где наблюдается частое чередование участков с пресными и солоноватыми (солеными) водами. Размещение водозаборов возможно лишь там, где позволяют фильтрационные свойства пород и состав подземных вод. Площади питания подземных вод, в основном, соответствуют частным водосборам рек и ручьев.

В группу Г входят территории, в пределах которых основные продуктивные (пресные) водоносные горизонты приурочены к речным долинам и имеют гидравлическую взаимосвязь с поверхностными водами.

Кроме охарактеризованного подхода возможно районирование адартезианских бассейнов на геоструктурной основе, при котором, наряду с блоковыми крупными гидрогеологическими структурами, выделяются также более мелкие структуры пликативного типа. Подобный подход реализован, в частности, в пределах Минусинского адартезианского бассейна (13), в котором оценены прогнозные региональные эксплуатационные ресурсы применительно к гидрогеологическим структурам низких порядков.

### **2.3 Виды работ, выполняемые в связи с региональной оценкой эксплуатационных ресурсов**

Для получения материалов, используемых при оценке прогнозных региональных эксплуатационных ресурсов подземных вод, проводятся региональные гидрогеологические исследования на основе общих представлений об условиях их формирования по гидрогеологическим регионам, бассейнам рек, территориальным административным подразделениям. Эти ресурсы являются основой для постановки поисковых или поисковооценочных работ на отдельных площадях. Региональная оценка ресурсов входит в состав первого этапа таких работ (8). Эти ресурсы оцениваются также на площадях, где проведены поисковые гидрогеологические работы. С меньшей точностью они могут оцениваться

для территорий, где выполнены гидрогеологические съемки масштаба 1:500 000 и крупнее. Оценка региональных прогнозных эксплуатационных ресурсов требует решения следующих задач:

- выявить общее количество ресурсов подземных вод на исследуемой площади и обосновать закономерности их формирования (распределение, условия питания, сток и др.);
- установить роль поверхностных вод в возможном пополнении ресурсов;
- наметить перспективные площади для проведения дальнейших исследований.

## **2.4 Методика оценки прогнозных региональных эксплуатационных ресурсов**

Для оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов используются гидродинамические расчеты, анализ водного баланса территорий и методы математического моделирования (11). Весьма распространенным подходом, использующим уравнения гидродинамики, являются методики ВСЕГИНГЕО (1), в соответствии с которыми учитываются также и естественные запасы подземных вод. Однако, как справедливо указывают Б.В. Боревский и Л.С. Язвин (2), последние при длительной эксплуатации водоносных горизонтов играют весьма незначительную роль и могут в связи с этим не учитываться. Поэтому составными частями прогнозных ресурсов, в основном, являются естественные и привлекаемые ресурсы.

### **2.4.1 Гидродинамический расчет прогнозных региональных ресурсов**

Наиболее часто прогнозные эксплуатационные ресурсы рассчитываются по методике, предложенной Н.Н. Биндеманом и Ф.А. Бочевером (1). Она заключается в приближенной оценке расхода условных



укрупненных водозаборов, равномерно распределенных по изучаемой площади. Эти водозаборы могут быть следующих типов: I - грунтовых вод и II - межпластовых (напорных) вод. Среди водозаборов первого типа различают подтипы: 1а, расположенные на водоразделах, и 1б - в долинах рек.

Очевидно, что, кроме возможных перетоков из нижележащих напорных водоносных горизонтов, водозаборы типа 1а могут питаться только за счет атмосферных осадков, а типа 1б - за счет атмосферных осадков и рек.

Изучаемая территория при использовании этого метода разбивается на ячейки (рис. 1).

Каждая ячейка имеет площадь, приравниваемую к круговой площади радиуса  $R$  - радиуса влияния. Соответствующий ячейке условный водозабор рассматривается как "большой колодец" радиуса  $g$ . Обычно  $g$  берется равным 10 м и более.

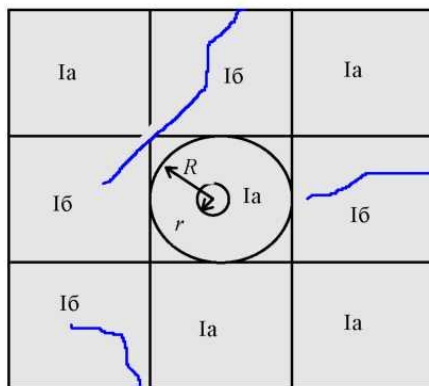


Рис. 1. Схема расположения условных водозаборов

При определении рассматриваемых ресурсов вводятся следующие дополнительные условия:

- водоносные горизонты считаются однородными;
- границы выделенных ячеек считаются непроницаемыми;
- взаимодействие ячеек между собой исключается.

Кроме того, принимается, что в различных ячейках мощности водоносного горизонта могут быть неодинаковыми. Для оценки данного типа ресурсов в ячейках 1а используется уравнение:

$$P_{\text{э}} = \frac{2\pi K H_{\text{ср}} \left( S_{\text{м}} + \frac{W \tau_{\text{э}}}{\mu} \right)}{\ln \frac{0.47R}{r} + \frac{2a_{\text{г}} \tau_{\text{э}}}{R^2}},$$

где  $P_{\text{э}}$  - региональные прогнозные эксплуатационные ресурсы, м<sup>3</sup>/сут.;  
 $K$  - коэффициент фильтрации, м/сут;  $H_{\text{ср}}$  - средняя мощность водоносного горизонта, м;  $S_{\text{м}}$  - величина максимально допустимого понижения уровня горизонта (обычно не более 0.6 - 0.7  $H_{\text{ср}}$ ), м;  $W$  - модуль питания водоносного горизонта за счет атмосферных осадков (осадки минус испарение), м/сут;  $\tau_{\text{э}}$  - период эксплуатации условного водозабора, сут;  $\mu$  - гравитационная водоотдача, д.е.;  $R$  - радиус ячейки, полученный от преобразования квадрата в круг, м (радиус влияния условного водозабора  $R=0.564-l$ , где  $l$  - размер стороны ячейки);  $r$  - радиус условного водозабора, м;  $a_{\text{г}}$  - коэффициент уровнепроводности, м<sup>2</sup>/сут.

По истечении определенного времени (несколько лет) первое слагаемое в знаменателе уравнения станет значительно меньше второго слагаемого и им можно будет пренебречь. Тогда эта формула примет вид

$$P_{\text{э}} = \frac{\pi K H_{\text{ср}} S_{\text{м}}}{\frac{a_{\text{г}} \tau_{\text{э}}}{R^2}} + \frac{\pi K H_{\text{ср}} W}{\frac{a_{\text{г}} \mu}{R^2}}.$$

Введем обозначения:  $\pi R^2 = F$  - площадь ячейки, м<sup>2</sup>;  $WF = QW$  - расход, обеспечиваемый инфильтрацией атмосферных осадков, м<sup>3</sup>/сут. В этом случае получаем

$$P_{\text{э}} = \frac{FKH_{\text{ср}} S_{\text{м}}}{a_{\text{г}} \tau_{\text{г}}} + \frac{Q_{\text{в}} KH_{\text{ср}}}{a_{\text{г}} \mu} = \frac{KH_{\text{ср}}}{a_{\text{г}}} \left( \frac{FS_{\text{м}}}{\tau_{\text{г}}} + \frac{Q_{\text{в}}}{\mu} \right).$$
$$\frac{KH_{\text{ср}}}{a_{\text{г}}} = \mu,$$

поэтому окончательное выражение принимает вид

$$P_{\text{э}} = \frac{F\mu S_{\text{м}}}{\tau_{\text{г}}} + Q_{\text{в}}.$$

Уравнение определяет то суммарное количество воды, которое может быть получено в пределах одной ячейки при осушении водоносного горизонта на величину  $S_{\text{м}}$ , с учетом инфильтрации атмосферных осадков.

На всей территории, т.е. из всех  $n$  ячеек, получим  $P_{\text{э}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{э},i}$ .

Поступление воды в ячейки типа  $\text{Iб}$  будет происходить за счет инфильтрации из рек, протекающих через эти ячейки. Ее величину можно рассчитать по уравнению притока в дрена, имеющую границу с постоянным напором (14).

#### **2.4.2 Оценка прогнозных региональных эксплуатационных ресурсов при перетекании воды из вышележащего водоносного горизонта**

Нередкой в пределах гидрогеологических разрезов является ситуация, при которой грунтовый водоносный горизонт (пласт А, рис. 2) отделен полупроницаемой толщей (пласт Б) от нижележащего напорного водоносного пласта (В).

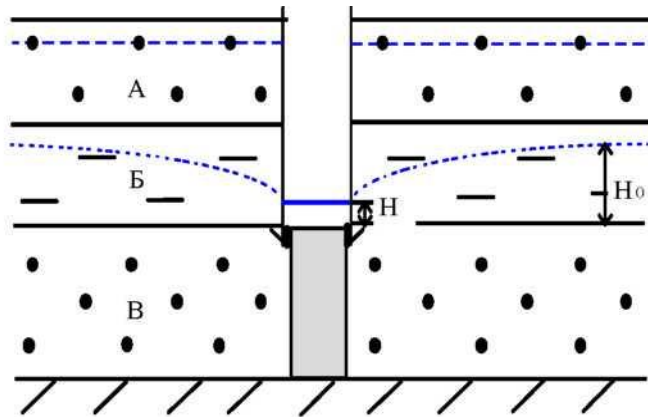


Рис. 2. Система, состоящая из двух водоносных пластов (А, В) и полупроницаемой толщи (Б)

При значительных понижениях уровня воды в пласте В возможно перетекание в него воды из пласта А через полупроницаемую толщу Б. Поступление её в данном случае будет идентичным инфильтрации из зоны аэрации, в связи с чем для оценки такого перетекания может быть использовано рассмотренное выше уравнение, где  $\mu$  должно быть заменено на  $\mu^{**}$ :

$$P_y = \frac{FS_m \mu^{**}}{\tau_y} + Q_w.$$

В данном случае  $S_m = H_0 - H$  и  $\mu^{**} = \mu^* + \mu$ , где  $\mu^*$  и  $\mu$  - коэффициенты гравитационной водоотдачи пласта А и упругой водоотдачи пласта В;  $Q_w$  - количество (общий расход) воды, перетекающей из пласта А в пласт В при неизменном уровне в пласте А.

### 2.4.3 Оценка естественных (геологических) запасов подземных вод

Естественные (геологические) запасы подземных вод определяются рядом факторов: объемом пласта, его водоотдачей, газонасыщенностью, температурой, сжимаемостью водно-газовой смеси, величиной давления на пласт и некоторыми другими. В связи с этим выделяют естественные запасы

воды  $V_e$  и упругие запасы  $V_{упр.}$ , причем последние образуются за счет снижения давления и составляют небольшую часть от естественных.

Для определения естественных запасов используют обычно уравнение  $V_e = V\mu$  (безнапорные воды) или  $V_e = V\mu^*$  (напорные воды), где  $V$  - объем осушенной части пласта,  $\mu$  - гравитационная (самотеком) водоотдача пласта, а  $\mu^*$  - упругая водоотдача напорного пласта.

К геологическим запасам относят весь объем воды в пласте, т.е. они превышают естественные запасы в связи с тем, что последние характерны лишь для той части пласта, которая будет осушена в процессе его эксплуатации.

В среднем считается, что  $\mu$  для гравийно-галечниковых отложений можно принять равной приблизительно 0.2; средне-крупнозернистых песков - 0.15; мелко-среднезернистых песков - 0.125; переслаивания песков и алевролитов - 0.05; переслаивание песков, алевролитов и глин - 0.03 (15).

Величину  $\mu$  часто находят также по формуле  $\mu = \frac{Km}{a_y}$ , а  $\mu^*$  по аналогичному равенству  $\mu^* = \frac{Km}{a}$ , где  $Km$  - водопроницаемость,  $a_y$  - коэффициент уровнепроводности, и  $a$  - коэффициент пьезопроводности (все три параметра в м<sup>2</sup>/сут).

#### **2.4.4 Оценка привлекаемых ресурсов**

Привлекаемые ресурсы - специфическая балансовая категория, возникающая только при работе водозабора. Это - суммарный расход дополнительного питания эксплуатируемого горизонта дополнительного к естественной интенсивности питания. Две возможности возникновения привлекаемых ресурсов:

- в областях естественного питания - оно может усилиться при эксплуатационном понижении уровней;

- в областях естественной разгрузки - вначале инверсия, а после полной инверсии на границе возникает обратное соотношение напоров и поток обратного направления, которого не было в естественных условиях.

Важнейшее положение: структура баланса водоотбора способна к существенному преобразованию во времени, а возможная направленность этих преобразований во многом зависит от положения водозабора по отношению к действующим балансово-гидрогеодинамическим границам пласта.

Характерная иллюстрация (рис. 3): если водозабор расположить близко к реке (или к другой дренирующей границе), то достаточно быстро, при небольших еще понижениях уже возникает сначала  $\Delta Q_p$ , а затем и  $\Delta Q_{п.}$ . Поэтому может быстро установиться стационар. Если же водозабор далеко от дренирующей границы, то воронка достигнет ее через весьма значительное время, либо в принципе не сможет ее достичь в пределах допустимых понижений в водозаборе. Величина естественного потока в этих условиях не имеет никакого значения для формирования баланса водоотбора; основным источником формирования эксплуатационных запасов будут являться только естественные запасы пласта и темп развития воронки будет таким же, как и в условиях бассейна подземных вод; соответственно - постоянный не стационар.

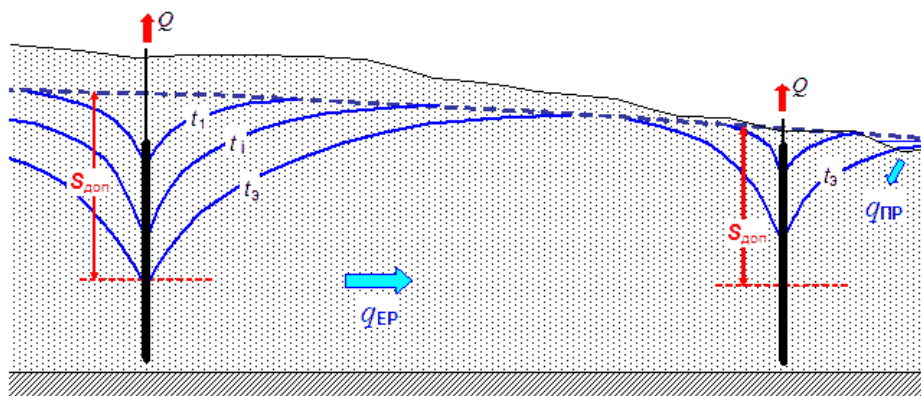


Рис. 3. Характер развития депрессионных воронок при расположении водозабора на удалении и вблизи реки

В этой связи вспомним о гидрогеологической (гидродинамической) рациональности водозабора. Выходит, что существуют такие места, где водозабор располагать выгоднее, чем где-то рядом: лучше параметры, легче проявляется благоприятное балансовое действие граничных условий. Такие участки прежде всего можно рассматривать как "месторождение подземных вод".

Оценка привлекаемых ресурсов – это увеличение естественного питания в связи с интенсификацией "старых" процессов и возникновением "новых". При балансовой оценке должны быть "вычислены" такие возможности; далее можно оценить лишь их предельную возможную интенсивность, исходя из природы процессов, обеспечивающих привлекаемые ресурсы.

Наиболее ясный пример: формирование привлекаемых ресурсов за счет вызванного притока из реки. К балансовой оценке возможной величины привлекаемых ресурсов в этом случае особенно щепетильно следует относиться в бассейнах малых рек, расход которых сопоставим с будущим водоотбором подземных вод.

Рассмотрим два варианта.

1. Река является транзитной для месторождения, т.е. депрессионная воронка не охватывает полностью верхнюю по течению часть речного бассейна (рис. 4. 1). Как оценить потенциально возможную величину привлечения речного стока? Вроде бы, по "входящему" расходу реки на верхней границе ожидаемой области депрессии  $P_0$ ? Нет, нужно понимать, что полный перехват стока реки в зоне месторождения не всегда допустим; как правило, с органами бассейнового надзора должна быть согласована величина остаточного "санитарного" расхода  $P_{min}$  (минимально необходимого для поддержания ландшафтных и других функций реки). Соответственно балансовая оценка привлекаемых ресурсов  $Q_{пр} = P_0 - P_{min}$

2. Река является "истинно малой", т.е. депрессия от водозабора полностью покрывает ее водосборную площадь выше по течению (рис. 4. 2). По-видимому, в такой ситуации правильнее считать, что балансовые возможности привлечения отсутствуют ( $Q_{пр} = 0$ ), так как после вполне возможной полной инверсии разгрузки подземных вод расход реки в пределах зоны месторождения будет равен нулю. Надо только понимать, что такую модель можно использовать лишь для балансовых расчетов, так как при реальном водоотборе инверсия разгрузки на флангах имеет частичный характер и, следовательно, сохранившаяся часть речного стока может все же формировать приток из реки на ближайшем к водозабору участке.

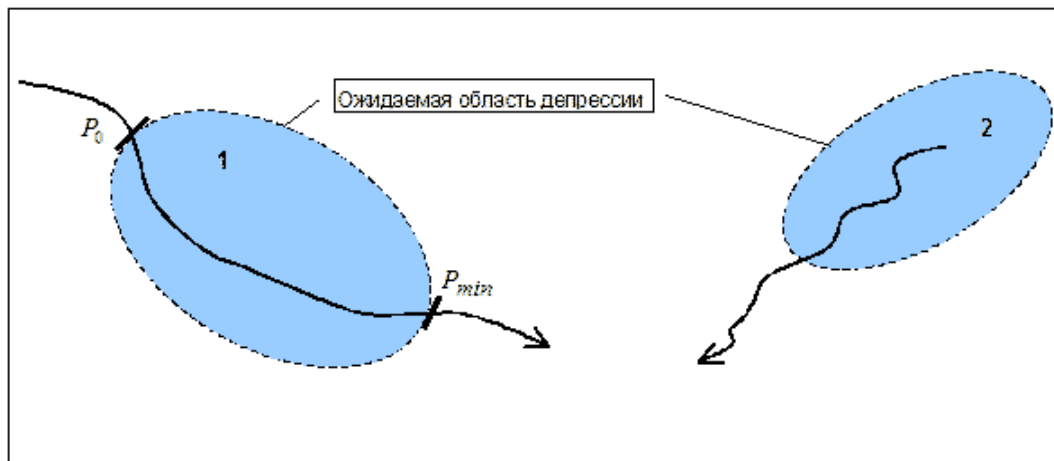


Рис. 4

Как уже подчеркивалось, при балансовой оценке система водоотбора (т.е. местоположение, схема и конструкция водозаборного сооружения) не рассматривается. Однако при оценке эксплуатационных запасов под реальную заявленную потребность ее нужно определять (обосновывать, рассчитывать) обязательно.

Поэтому реальные подсчеты ЭЗ выполняются с помощью одного из двух основных методов: гидродинамического или гидравлического (каждый из них имеет модификации).



Размещено на <http://www.allbest.ru/>

Более распространенным и рекомендуемым в качестве основного является гидродинамический метод; применение гидравлического обычно имеет вынужденный характер и требует специального обоснования.

## **Глава III. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод**

### **3.1 Методы определения эксплуатационных запасов**

Как уже отмечалось, к эксплуатационным относятся запасы подземных вод, которые вовлекаются или в определенное время могут быть вовлечены в эксплуатацию. Очевидно, что эксплуатационные запасы, изученные с детальностью, соответствующей категориям Р, С, В или А, представляют практический интерес, в первую очередь. К каждой из категорий предъявляются определенные требования, например, разработанные Государственной комиссией по запасам (ГКЗ).

Необходимо также отметить, что методика определения запасов в значительной степени влияет на обоснование и выбор методов поисков и разведки месторождений подземных вод, особенно последней. В связи с этим выбор методики оценки запасов подземных вод по различным категориям изученности является весьма ответственным.

Как отмечает Н.И. Плотников (16), для обоснованной оценки запасов месторождения подземных вод целесообразно подразделять на две группы. К первой из них отнесены месторождения, в пределах которых водозаборы располагаются в областях питания подземных вод (долины рек и др.). Это, в основном, месторождения инфильтрационного типа.

Вторая группа включает месторождения, приуроченные к областям стока. Такие месторождения нередко эксплуатируются в условиях неустановившегося движения потоков, в частности, при более высоком дебите водозабора, чем величина используемых ресурсов (фильтрационные месторождения).

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод, прежде всего высоких категорий, необходимо учитывать граничные условия в плане (безграничный или полуограниченный пласт, пласт-полоса с различными границами, круговой контур и т.д.) и в разрезе (безнапорный пласт с

инфильтрационным питанием, напорный при перетекании сверху или снизу и т.д.), а также начальные условия (при слабом колебании уровня, значительном колебании уровня и др.).

За начальную отметку уровня при расчете запасов обычно берется минимальное ее значение, выявляемое в процессе режимных наблюдений.

### **3.1.1 Гидродинамический метод**

Этот метод применяется для схематизированных природных условий с учетом взаимодействия скважин, времени их работы, а также граничных условий в плане и разрезе (т.е. расчет ведется применительно к типовым расчетным схемам). Основные недостатки - невозможность достаточно полно учесть особенности конструкции скважин и неоднородность горизонтов. При использовании метода пласт считается однородным, т. е. для него рассчитывается среднее значение основных параметров ( $Km$ ,  $a$  и др.). По существу, подсчет запасов гидродинамическим методом сводится к определению производительности проектируемого водозабора на необходимый срок (чаще всего - 10 000 суток, т.е. 27 лет).

Величина снижения уровня в эксплуатируемом водоносном горизонте не должна превышать значения максимального допустимого понижения ( $S_m$ ). Последнее для безнапорного пласта не должно превышать 0.5 - 0.6  $m$ , где  $m$  - мощность горизонта. В случае, если пласт очень мощный (порядка 50 и более  $m$ ), оно может быть повышено до 2/3 от величины  $m$ . Слабонапорные пласты, имеющие напор порядка 5  $m$  и менее, обычно рассматриваются как безнапорные. Для напорных пластов  $S_m$  обычно не превышает величины напора, исключая мощные пласты, которые можно эксплуатировать и в напорно-безнапорном режиме (т. е. с осушением на 2/3 от  $m$ ).

Гидродинамический метод подсчета запасов подземных вод применим во многих случаях, однако, в ряде гидрогеологических ситуаций его использование нецелесообразно, в частности в случаях, когда не удастся достаточно точно схематизировать природные условия или учесть

значительную неоднородность водоносного пласта с помощью формул гидродинамики. Существенно расширяются возможности гидродинамического метода в части учета сложности и неоднородности водоносных горизонтов, если он используется не как традиционное аналитическое решение, требующее весьма жесткой схематизации природных условий, а в варианте сеточного моделирования работы проектного водозабора по методам конечных разностей или элементов с применением специальных программ для ЭВМ.

При оценке запасов гидродинамическим методом обычно рассчитывается величина понижения уровня водоносного горизонта в наиболее неблагоприятно расположенной точке (например, в центре водозабора, где оно будет наибольшим) на конец срока эксплуатации. Полученная расчетом величина снижения уровня  $S$  сравнивается со значением  $S_m$ . Если  $S \leq S_m$ , запасы при заданной производительности водозабора считаются обеспеченными. Этим расчетом определяются общие запасы, обычно по категории  $C$ . Более точная их индексация зависит в основном от типа скважины (ее диаметра и т.д.), количества откачивающих скважин, величины и длительности понижения уровня и т.д. Для решения этого вопроса используются, прежде всего, требования инструкции ГКЗ.

### **3.1.1.1 Неограниченный по площади водоносный пласт**

Наиболее известно использование для решения данной задачи метода "большого колодца", основой которого является уравнение:

$$S = SBH + S_c,$$

где  $S$  - полное понижение уровня воды в скважине, расположенной в центре площади расчетного водозабора, приведенного к "большому колодцу";  $SBH$  - понижение уровня водоносного горизонта, обусловленное работой всех скважин, влияющих на центральную (внешнее);  $S_c$  -

дополнительное понижение уровня в центральной скважине, возникающее за счет собственной ее работы с учетом совершенства и расположения в системе взаимодействующих скважин (собственное).

Внешнее понижение СВН находится по равенству (здесь и в последующем для напорных вод):

$$S_{\text{вн}} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi K m} \ln \frac{R_{\text{п}}}{R_0},$$

где  $Q_{\Sigma}$  - суммарный дебит системы проектируемых скважин, м<sup>3</sup>/сут;  
 $R_0$  - радиус "большого колодца", а  $R_{\text{п}}$  - приведенный радиус влияния водозабора, м (системы взаимодействующих скважин; определяется по равенству:

$R_{\text{п}} = 1.5y\sqrt{a\tau}$  - здесь  $\tau$  - время работы водозабора, сут;  $\tau$  обычно берется равным 10 000 сут.).

Данное уравнение применимо в случаях, когда выполняется условие:  $\frac{a\tau}{R_0^2} \geq 2,5$  для линейного ряда скважин или  $\frac{a\tau}{R_0^2} \geq 3,5$  - для кольцевой системы скважин.

Величина понижения уровня в центральной скважине за счет ее собственной работы находится по уравнению:

$$S_c = \frac{Q}{2\pi K m} \left[ \ln \frac{r_{\text{п}}}{r_c} + 0.5\xi \right]$$

где  $Q$  - дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $r_{\text{п}}$  - приведенный радиус области влияния скважины и  $r_c$  - радиус скважины, м;  $\xi$  - фильтрационное сопротивление, учитывающее несовершенство скважины, б/р (безразмерное находится по справочной таблице).

Для линейного водозабора  $g\pi \frac{b}{2\pi}$  и  $R_0=0.2 L$ , где  $b$  – расстояние между скважинами линейного ряда, а  $L$  – длина ряда водозаборных скважин, м.

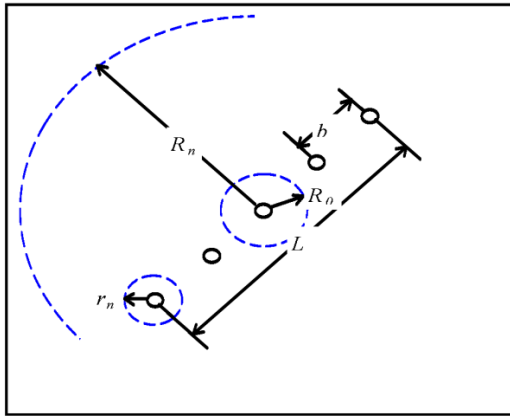


Рис. 5 Схема расположения скважин линейного ряда в неограниченном пласте

Таким образом, запасы воды линейного водозабора в пределах площади с радиусом питания  $R_n$  в неограниченном пласте будут определяться дебитом  $Q_\Sigma$ , обеспечивающим понижение  $S$ , которое находится по уравнению:

$$S = S_{\text{вн}} + S_c = \frac{Q_\Sigma}{2\pi K m} \ln \frac{R_n}{R_0} + \frac{Q}{2\pi K m} \left[ \ln \frac{r_n}{r_c} + 0.5\xi \right].$$

### 3.1.1.2 Полуограниченный пласт

Полуограниченными считаются водоносные пласты, с одной или нескольких сторон имеющие удаленную границу, не достигаемую депрессионной воронкой, формирующейся в процессе эксплуатации водозабора.

Остальные границы (или граница) часто имеют либо постоянный напор (река, водоем), либо постоянный - вплоть до нулевых значений - расход. В

первом случае приток воды к водозаборным скважинам будет поступать в большем количестве по сравнению со вторым вариантом.

Исходная зависимость для расчета запасов имеет такой же вид, как и первое уравнение. Численное значение  $S_{BH}$  во многом зависит от граничных условий. В частности, для границы с постоянным напором оно может быть определено по зависимости:

$$S_{BH} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi Km} \ln \frac{2l}{R_0},$$

где  $l$  - расстояние от линии водозабора до контура с постоянным напором, м (остальные обозначения прежние).

Значение  $S_c$  находим по уравнению:

$$S_c = \frac{Q}{2\pi Km} \left[ \ln \frac{r_{II}}{r_c} + 0.5\xi \right]$$

использованному для определения запасов в неограниченном пласте. При наличии границы с непроницаемым контуром (расход через границу равен 0) используется уравнение

$$S_{BH} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi Km} \ln \frac{1.13a\tau}{l \cdot R_0},$$

где  $l$  - расстояние до непроницаемого контура, м. Понижения в центральной скважине также находятся по равенству  $S = S_{BH} + S_c$ .

### 3.1.1.3 Пласт-полоса с двумя границами

Водоносные горизонты данного типа (по граничным условиям) имеют различные контуры, все разнообразие которых часто может быть сведено к двум видам - с постоянным напором и с постоянным расходом – и к их сочетанию (3 варианта). При этом граничные условия будут в основном влиять лишь на величину  $S_{вн}$ .

1-й вариант - обе границы с постоянным напором. Применительно к данному варианту

$$S_{вн} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi Km} \ln \frac{0.64z \cdot \sin \frac{\pi z_1}{z}}{R_0},$$

где  $z$  - ширина полосы (т.е. водоносного пласта), м;  $z_1$  - расстояние от водозабора до ближайшего контура, м.

2-й вариант - оба контура водонепроницаемы. В данном случае используется уравнение

$$S_{вн} = \frac{Q_{\Sigma}}{4\pi Km} \left( \frac{7.1\sqrt{a\tau}}{z} + 2 \ln \frac{0.16z}{R_0 \sin \frac{\pi z_1}{z_2}} \right),$$

где  $z_2$  - расстояние до более удаленного контура, м.

3-й вариант - один контур с постоянным напором, второй - непроницаемый. В этом случае понижение определяется по равенству

$$S_{вн} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi Km} \ln \frac{1.27z \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi z_1}{z}}{R_0},$$



причем, в данном случае  $z_1$  - расстояние до контура с постоянным напором.

### 3.1.1.4 Пласты с круговым контуром питания

Наиболее характерными являются случаи непроницаемого контура и контура, по которому повсеместно происходит питание. Для расчета также используется уравнение  $S = SBH + Sc$ . Для определения  $S_{вн}$  для напорного пласта с круговым непроницаемым контуром используется равенство:

$$S_{вн} = \frac{Q_{\Sigma}}{\pi K m} \cdot \frac{a\tau}{R_k^2},$$

где  $R_k$  - радиус кругового контура, м. Использование данного уравнения возможно, если время работы водозабора ( $\tau$ ) составляет более 360 суток.

В случае контура с круговым питанием это уравнение имеет вид

$$S_{вн} = \frac{Q_{\Sigma}}{2\pi K m} \ln \frac{R_k}{R_0}.$$

Основным условием применения большинства формул, приведенных при освещении гидродинамического метода оценки запасов, является удаленность крайних скважин водозаборного ряда от ближайшей границы пласта. Для линейного расположения скважин она должна превышать  $2.5R_0$ , а для кольцевого ряда -  $1.6R_0$ .

Следует также отметить, что, если эксплуатируемые водоносные горизонты будут безнапорными, то в приведенных формулах необходимо заменить выражение  $2mS$  на  $H_2-h_2$ , где  $H$  - мощность безнапорного горизонта, а  $h$  - высота остаточного столба воды в скважинах после снижения в них уровня воды, м.

### 3.1.2 Гидравлический метод

Основой гидравлического метода определения запасов подземных вод являются данные (эмпирические зависимости), полученные в результате опытных и опытно-эксплуатационных откачек, либо опытной эксплуатации водоносного горизонта.

Кроме дебитов, получаемых в процессе этих работ, используется также интерполяция кривых дебита (зависимостей  $Q$  от  $S$ ), строящихся по результатам опытных работ. Наиболее надежные результаты при этом получают в случае не менее чем трехкратных снижений уровня при различных дебитах. Данный метод позволяет учесть особенности конструкции скважин, их взаимное расположение и строение водовмещающих отложений. Его недостатками является отсутствие возможности учитывать изменение дебита водозаборов во времени и, кроме того, невозможность прогнозировать влияние граничных условий пластов на производительность водозаборов.

Необходимо также учесть, что более точные результаты можно получать по одиночно работающим скважинам при установившемся режиме фильтрации. Однако для приближенного решения задач метод может применяться и при использовании данных по взаимодействующим скважинам. Причем, в этом случае, необходимо добиваться стабилизации уровня (либо квазистационарного режима) во всей зоне влияния опытных работ. В таких случаях снижение уровня за счет работы взаимодействующих скважин ( $S$ ) можно определить по уравнению

$$S = S_0 + \sum_{i=1}^n \Delta S_i \frac{Q_i}{Q'_i},$$

где  $S_0$  - понижение уровня в центральной скважине группового водозабора при ее работе с проектным дебитом, часто определяемое по кривой дебита в пределах допустимой интерполяции;  $\Delta S_i$  - срезки уровня в

этой скважине за счет работы каждой скважины  $i$  из  $n$  других проектных скважин (определяются при проведении одиночных, парных или групповых откачек);  $Q_i$  - дебиты соответствующих скважин при опытных работах, обусловившие срезки уровней  $\Delta S_i$  в центральной скважине;  $Q_i$  - проектные дебиты этих же скважин.

Наиболее точные результаты определения  $S$  по уравнению получаются для инфильтрационных месторождений, имеющих постоянное питание. Полученная величина  $S$  сравнивается с  $S_m$ . Кроме рассмотренной методики, к гидравлическому способу оценки эксплуатационных запасов относится также метод депрессионных воронок, предложенный Н.И. Плотниковым (17).

### **3.1.3 Совместное использование гидродинамического и гидравлического методов**

Отмеченные в предыдущих разделах достоинства и недостатки гидравлического и гидродинамического методов оценки эксплуатационных запасов месторождений подземных вод показывают, что во многих случаях целесообразно использовать их совместно. При этом можно учесть конструктивные особенности водозаборных скважин, их взаимодействие и неоднородности гидрогеологических разрезов, а также время работы скважин и особенности граничных условий пластов.

Одним из основных условий успешного использования данного способа является то, что в процессе определения запасов сохраняются те же границы водоносных горизонтов, прежде всего в плане, которые имелись в период опытных работ, проведенных в связи с оценкой гидрогеологических параметров этих горизонтов. Поэтому он применим, прежде всего, в условиях неограниченных водоносных пластов или пластов-полос с непроницаемыми границами.

Расчет запасов при использовании данной методики, равно как и других методов, сводится к нахождению величины снижения уровня  $S$  в

наиболее неблагоприятно расположенной скважине (обычно центральной в системе взаимодействующих скважин) и сравнению его с  $S_m$ .

На первом этапе расчетов определяется дополнительное понижение (срезка) уровня в неблагоприятно расположенной скважине проектного водозабора при работе ее как одиночной на конец срока эксплуатации:

$$S_c = S_0 + \frac{(z_2 - z_1) \cdot Q_3 \ln \frac{\tau_3}{\tau_2}}{Q_{оп} \ln \frac{\tau_2}{\tau_1}},$$

где  $S_0$  - понижение уровня в скважине при проектном дебите (определяется по кривой зависимости дебита от понижения, построенной по данным опытной откачки), м;  $Q_{оп}$  - дебит скважины при опытной откачке и  $Q_3$  - проектный дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $z_1$  - понижение уровня в скважине на время  $\tau_1$  от начала опытной откачки;  $z_2$  - понижение уровня в скважине через время  $\tau_2$  (чаще всего в конце опытной откачки);  $\tau_3$  - срок работы водозабора.

На втором этапе расчетов определяется срезка уровня в той же расчетной скважине при взаимодействии ее с другими скважинами на конец срока эксплуатации водозабора (по данным групповой откачки):

$$S_{ин} = \frac{Q_3}{Q_{оп}} \cdot \left( \Delta z_1 + \frac{(\Delta z_2 - \Delta z_1) \ln \frac{\tau_3}{\tau_2}}{\ln \frac{\tau_2}{\tau_1}} \right),$$

где  $\Delta z_1$ , - срезка уровня в расчетной скважине во время групповой опытной откачки через время  $\tau_1$  от ее начала;  $\Delta z_2$  - срезка уровня в той же скважине через время  $\tau_2$  от начала откачки (чаще всего на конец откачки).

Общее понижение  $S$  находится, как обычно, по уравнению и сравнивается с максимальным допустимым понижением ( $S_m$ ).

Если из соседних скважин была проведена не групповая откачка, а были выполнены поочередно из каждой одиночные откачки и за счет них получены срезки уровня, пересчитанные на конец срока эксплуатации водозабора:  $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$ , то общее понижение в неблагоприятно расположенной скважине находится как

$$S = S_c + \sum_{i=1}^n \Delta S_i .$$

Величины срезов  $\Delta S_i$  на конец срока эксплуатации водозабора находятся (для каждой из них отдельно) по данным одиночных откачек с использованием уравнения, приведенного выше. Аналогично, при необходимости, можно рассчитать снижение уровня в любой из взаимодействующих скважин данной водозаборной системы.

### **3.1.4 Балансовый метод**

При использовании балансового метода оценки запасов учитываются приходные и расходные составляющие баланса месторождений подземных вод. Приходная часть - инфильтрация атмосферных осадков, поверхностных вод, а также приток воды из соседних водоносных горизонтов. Расходная часть - испарение (для грунтовых вод), отток в поверхностные водоемы, водотоки и другие места разгрузки на дневной поверхности, перетоки в соседние водоносные горизонты.

Балансовым методом определяются, прежде всего, общие возможности эксплуатации подземных вод в районах месторождений. Они должны удовлетворять уравнению

$$Q_{\Sigma} = Q_p + \frac{V_e}{\tau_e} \cdot \alpha ,$$

где  $Q_p$  - региональные естественные ресурсы подземных вод, численно равные расходу подземного потока;  $V_e$  - естественные запасы подземных вод;  $\alpha$  - коэффициент практического извлечения естественных запасов подземных вод (обычно от 0.3 до 0.6).

Балансовые расчеты применяются, как правило, только в сочетании с гидравлическим и гидродинамическим методами оценки эксплуатационных запасов, так как не дают возможности рассчитывать понижения в водозаборных скважинах и являются региональными.

Наиболее значимой при использовании данного метода является приходная часть баланса, которая складывается из величины естественных запасов и региональных естественных ресурсов.

При определении естественных запасов наибольшие трудности возникают в процессе получения величины водоотдачи  $\mu$ . Определять последнюю для грунтовых водоносных горизонтов наиболее целесообразно, по мнению Н.Н. Биндемана, на основе опытных откачек из скважин по уравнению:

$$\mu = \beta \frac{Q \cdot \tau}{r_1^2 (S_1 - S_2)} ,$$

где  $\beta$  - коэффициент, находимый по графику, приведенному в работе (1), в зависимости от  $S_1$  и  $S_2$  при заданном отношении  $\frac{r_2}{r_1}$ ;  $Q$  - дебит центральной скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $\tau$  - время опытной откачки, сут;  $r_1$  - расстояние до ближней и  $r_2$  - до дальней наблюдательных скважин, м;  $S_1$  - понижение уровня при откачке в ближней (к центральной) и  $S_2$  - в дальней наблюдательных скважинах, м.

Возможно определение водоотдачи по результатам режимных наблюдений, хотя и с меньшей точностью. При этом можно использовать, например, уравнение Г.Н. Каменского в конечных разностях (18).

Нахождение региональных естественных ресурсов в процессе использования балансового метода следует проводить, по рекомендации Н.Н. Биндемана, на основе оценки величины питания водоносного горизонта атмосферными осадками по уравнению:

$$Q_p = W \cdot F,$$

где  $W$  - инфильтрация атмосферных осадков на единицу площади водной поверхности водоносного горизонта, м/сут;  $F$  - площадь области питания водоносного горизонта, определяемая по гидрогеологической карте, м<sup>2</sup>.

Достаточно трудоемкие исследования необходимо выполнять для определения величины инфильтрации атмосферных осадков. Для этого Н.Н. Биндеманом рекомендуется, в частности, уравнение Г.Н. Каменского в конечных разностях при неустановившемся движении грунтовых вод. При использовании данной методики среднегодовую величину инфильтрации можно рассчитать по уравнению

$$W = \mu \cdot \frac{\Delta h + \Delta z}{365},$$

где  $\mu$  - водоотдача водоносного горизонта;  $\Delta h$  - наблюдаемое повышение уровня подземных вод после инфильтрации за время  $\Delta t$  (после снеготаяния, выпадения обильных дождей и т.п.), м;  $\Delta z$  - величина, на которую уровень подземных вод снижается за такое же точно время  $\Delta t$  за счет оттока по водоносному горизонту в случае отсутствия осадков.

Величины, приведенные в данном уравнении, находятся, в основном, по результатам достаточно длительных (не менее 1 года) режимных наблюдений по створу скважин (минимум трех), расположенному по направлению движения подземных (как правило, грунтовых) вод. При этом более удовлетворительные данные получают при соблюдении следующих условий:

- режимные наблюдения проводятся на участках, где поверхность грунтовых вод близка к горизонтальной, т. е. вдали от рек;

- глубина залегания уровня водоносного горизонта должна быть близка к 2-4 м.



## **Глава IV. Использование ЭВМ при оценке запасов подземных вод**

### **4.1 Программное обеспечение**

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод, как следует из предыдущего рассмотрения, всегда производится применительно к конкретной схеме водозабора, определяющей размещение, конструкцию и водоприемную способность входящих в его состав водозаборных сооружений. Последние должны максимально учитывать реально существующее геолого-гидрогеологическое строение объекта исследований, изученное в зависимости от стадии исследований и сложности природных условий с различной полнотой и достоверностью.

Обоснование оптимальной в технико-экономическом отношении схемы водозабора требует в этой связи проведения многовариантных расчетов, что в случае наиболее часто используемых гидродинамического и гидравлического методов сопряжено со значительной трудоемкостью, а в ряде ситуаций и сложностями чисто вычислительного характера. Относительная трудоемкость вычислений характерна, кроме того, и для обработки результатов опытно-фильтрационных работ с целью определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) горных пород, предшествующей оценке запасов. Особый класс гидрогеологических задач, сопутствующих оценке ресурсов и запасов подземных вод, в принципе не решаемых "вручную", ввиду нереальности требуемого для этого времени, представляет собой моделирование геофильтрации и геомиграции.

Эти обстоятельства обусловили интенсивную разработку и все более широкое внедрение в практику поисково-разведочных работ на подземные воды методов автоматизации геофильтрационных расчетов и численного моделирования гидродинамических и гидрогеохимических процессов, реализованных в виде специализированного программного обеспечения для персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ).

Используемые при оценке запасов программы могут быть условно подразделены на три группы, на практике часто объединяемые в единые программные комплексы:

- 1) вспомогательные, предназначенные для оценки ФЕС пород и др.,
- 2) прямого расчета и оптимизации водозаборов на базе описанных выше аналитических методов,
- 3) имитационного численного гидродинамического и гидрогеохимического моделирования водозаборов на сеточных моделях.

Среди отечественных гидродинамических пакетов программ наиболее известны программы русско-австрийского СП ГеоЛинк, ВСЕГИНГЕО,

МГУ (г. Москва) и С-ПбГИ(У) – ВИМС (г. Санкт-Петербург). Основным продуктом СП ГеоЛинк является "Автоматизированное рабочее место гидрогеолога" (АРМ ГЕО; руководители проекта А.А. Рошаль, Л.В. Боровский), объединяющее серию самостоятельных или относительно самостоятельных программ-модулей, предназначенных для решения производственных и научных задач в области гидрогеологии.

АРМ ГЕО представляет собой диалоговую систему, обеспечивающую доступ к имеющимся в ней программным средствам и геологической информации, содержащейся во "встроенных" специализированных БД.

Во ВСЕГИНГЕО развиваются 2 системы сеточного моделирования задач геофильтрации и массопереноса (без учета взаимодействий в системе вода-порода) в среде подземных вод, близкие по назначению и своим возможностям: TOPAS А.Плетнёва и "Система специального программного обеспечения автоматизированных сеточных моделей гидрогеологических объектов" ССПО Модель Е.А. Полшкова.

К этому же типу программного обеспечения (ПО) относится система Stimul-2 Е.А. Ломакина и др., разрабатывавшаяся в Санкт-Петербурге, сначала в ВИМС - С-ПбГИ, а затем в фирме "Водные ресурсы", и система моделирования геофильтрации и массо- и теплопереноса В.И. Гунина и А.М. Плюснина (ЧИПР).

Особый вид гидродинамического ПО представляют программные разработки А.В. Кирюхина (С-ПбГИ – ДВО СО РАН), предназначенные для моделирования тепло- и паропереноса в пределах гидротермальных систем.

Наиболее известными зарубежными аналогами данных продуктов является моделирующая система GMS (Groundwater Modeling System) лаборатории Brigham Young University США, распространяемая Environmental

Modeling Systems Incorporated, и Visual Modflow геологической службы США (USGS) и фирмы TecSoft. Для последней дополнительно поставляется мощная система визуализации результатов моделирования Visual Groundwater. В целом, можно говорить об их большей сервисности по сравнению с отечественными программами, хотя с содержательной точки зрения российские продукты, как правило, обладают более широкими наборами методов решения и, соответственно, большими возможностями корректного решения широкого круга гидродинамических задач.

Подобная ситуация наблюдается и по гидрогеохимическому ПО (23). Практически не имеют близких по возможностям зарубежных аналогов геохимические моделирующие системы, основанные на методе минимизации свободных энергий Гиббса, GIBBS Ю.В. Шварова (МГУ) и Селектор-С И.К. Карпова, К.В. Чудненко и др. (Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск), а также аналогичная, судя по публикациям, разработка Н.Н. Акинфиева.

Не уступают лучшим зарубежным системам, а во многих случаях и превосходят их, и программные разработки, базирующиеся на методе "констант равновесия". Наиболее интересны среди них генератор гидрогеохимических моделей В12 и полученная с его помощью серия узкоприкладных программ-имитаторов SOXXXX фирмы СофДек В.Н. и С.В. Озябкиных (г. Санкт-Петербург), в т.ч. учитывающих геомиграцию, и программная система MIF Г.А. Соломина (ВСЕГИНГЕО, г. Москва).

К этому ряду примыкает и разработанный в ТПУ программный комплекс HydroGeo (HG32 для Windows), объединяющий одновременно

Размещено на <http://www.allbest.ru/>

гидродинамические и гидрогеохимические модули, что позволяет отнести его к одной из версий АРМ-гидрогеолога. В отличие от других, данный ПК ориентируется как на традиционные гидрогеологические задачи, так и на специфику глубокозалегающих подземных вод и методов нефтегазовой гидрогеологии, и может широко использоваться в этой области.

Среди зарубежных программ в данном направлении наиболее интересны HYDROGEOCHEM 1 и 2, PHREEQE и PHRQPITZ. Ряд интересных относительно узкофункциональных программных продуктов разработан в МГУ: TEIS и REGIM (обработка данных откачек и режимных наблюдений; Р.С. Штенгелов, М.И. Казаков), MCG (сеточная модель геофильтрации; С.О. Гриневский), TRANSFER (сеточная геофильтрация и геомиграция; А.В. Лехов и др.).

Самостоятельная область использования ПЭВМ при оценке запасов подземных вод и других гидрогеологических исследованиях связана с применением многочисленных в настоящее время программных средств общего назначения, предназначенных для автоматизированного хранения, первичной оперативной обработки и визуализации (в т.ч. картографической) информации или как это называют в последнее время - для создания фактографических моделей гидрогеологических объектов. Прежде всего, это различные, так называемые, СУБД (средства управления базами данных) и ГИС (географические информационные системы), а также табличные процессоры, графические пакеты и др., носящие вспомогательный характер. Не останавливаясь на этом специально, отметим среди них в качестве примера такие широко известные серии пакетов программ как Paradox-QuattroPro, FoxPro/Access/MDE - Excel, Grapher - Surfer - MapViewer, GeoGraph - GeoDraw, ArcView – ArcInfo, MapInfo и т.п.

Специализированное ПО, которое может быть применено для изучения месторождений подземных вод, использует в принципе близкие методы обработки информации, поэтому ниже более подробно рассматриваются методы, реализованные в программном комплексе HydroGeo (ПК HG32),

разработанном и применяемом в учебной и научной работе кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ТПУ.

## **4.2 Определение фильтрационно-емкостных свойств водоносных горизонтов**

В качестве основных расчетных зависимостей для определения ФЕС по результатам гидрогеологических откачек и испытания скважин в программе SP, входящей в состав ПК HG32, используются широко известные формулы геогидродинамики, записанные применительно к системе СИ и специфике вод глубоких горизонтов (с учетом их плотности и вязкости):

1) логарифмического приближения уравнения Тейса, описывающего плоско-радиальную фильтрацию флюида к скважине:

$$P_0 - P_3 = \frac{Q\mu}{4\pi mK_{II}} \ln \frac{a\tau c}{r^2},$$

где  $P_0$  - пластовое давление (Па),  $P_3$  - текущее забойное давление (Па),  $Q$  - текущий дебит (м<sup>3</sup>/с),  $\mu$  - вязкость флюида (Па·с),  $m$  - эффективная мощность пласта (м),  $K_{II}$  - коэффициент проницаемости (м<sup>2</sup>),  $a$  - коэффициент пьезопроводности (м<sup>2</sup>/с),  $\tau$  - время замера  $P_3$  (с),  $r$  - расстояние от оси скважины до внутренней границы изучаемой зоны дренирования: в случае одиночной скважины - ее радиус в зоне залегания пласта, а для наблюдательной - расстояние до нее (м),  $c=2.24584$  - константа, вычисленная как  $4/\nu$  ( $\nu$  - постоянная Эйлера);

2) обработки кривых восстановления давления по методу Хорнера:

$$P_0 - P_3 = \frac{Q_{cp}\mu}{4\pi mK_{II}} \ln \frac{T + \tau}{\tau},$$

Размещено на <http://www.allbest.ru/>

где  $Q_{ср}$  - средний дебит за время притока (м<sup>3</sup>/с),  $T$  – продолжительность притока,  $\tau$  - текущее время КВД (с).

При этом давление и напор (в метрах) связаны соотношением  $P = \rho g H$ , а коэффициенты фильтрации (в м/с) и проницаемости зависимостью

$$K = K_{п} \frac{\rho g}{\mu},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения ( $g=9.807$  м/с<sup>2</sup>) и  $\rho$  - плотность воды (кг/м<sup>3</sup>).

Алгоритм определения фильтрационно-емкостных параметров использует стандартные графоаналитические методы обработки полученных при откачках кривых понижения и восстановления уровня Тейса-Джейкоба и Хорнера-Сейза. Последний применяется также и для расчета параметров по кривым восстановления давления (КВД) в глубоких скважинах, опробованных при помощи испытателя пласта (ИП).

При использовании этого алгоритма в процессе визуализации графиков, для более корректной их интерпретации, выполняются проверки времени наступления квазистационарного режима  $t_k \geq 2.5r^2/a$  и времени  $t_e \geq 20 \times \pi r^2 S/Q$ , начиная с которого погрешность расчетов за счет влияния ёмкости ствола скважины не превышает 5%.

Ввиду необходимости учета одновременного изменения дебита и забойного давления в ходе опробования глубоких скважин с помощью ИП или испытания в колонне, данные по получаемым при этом кривым притока (КП) обрабатываются аналитическим методом, базирующимся на численном интегрировании КП и КВД на основе принципа суперпозиций (наложения течений), частные варианты которого изложены применительно к исследованию глубоких скважин в работах (25,26).

Используемые при этом расчетные зависимости вытекают из уравнения, в соответствии с которым разность пластового и текущего

забойного давления для каждой точки N кривой притока, начиная с 3-й, составляет

$$P_0 - P_N = K' \left( \sum_{n=0}^{N-2} Q_n \ln \frac{\tau_N - \tau_n}{\tau_N - \tau_{n+1}} + Q_{N-1} \ln(\tau_N - \tau_{N-1}) + Q_{N-1} \ln d \right),$$

$$\text{где } n = \overline{0, N-2}, N \geq 2, K' = \frac{\mu}{4\pi m K}, d = ac / r^2.$$

В случае, когда  $P_0$  требует расчета, используются последовательные разности выражений, записанных в соответствии с уравнением для каждой пары расчетных точек:

$$\frac{P_N - P_{N-1}}{K'} = \sum_{n=0}^{N-3} Q_n \ln \frac{(\tau_{N-1} - \tau_n)(\tau_N - \tau_{n+1})}{(\tau_{N-1} - \tau_{n+1})(\tau_N - \tau_n)} + Q_{N-2} \ln \frac{(\tau_{N-1} - \tau_{N-2})(\tau_N - \tau_{N-1})}{(\tau_N - \tau_{N-2})} - Q_{N-1} \ln(\tau_N - \tau_{N-1}) + (Q_{N-2} - Q_{N-1}) \ln d.$$

Коэффициент пьезопроводности во всех случаях, кроме кустовых откачек (или гидропрослушивания), лучше рассчитывать методом последовательных приближений, используя равенство, примененное при программной реализации метода суперпозиций:

$$a = \frac{K_{\pi}}{\mu(n_0 \beta_{\phi} + \beta)},$$

где  $n_0$  - открытая пористость коллектора в д.е.,  $\beta_{\phi}$  - коэффициент сжимаемости флюида (при отсутствии лабораторных определений для воды может быть задан равным  $3 \cdot 10^{-10}$  Па<sup>-1</sup>),  $\beta$  - коэффициент сжимаемости пористой среды (породы), определяемый для гранулярных коллекторов по уравнению регрессии, описывающему график Холла (точность  $\pm 6\%$ ; Па<sup>-1</sup>):

$$\beta = 4.15 \cdot 10^{-12} n_0 + 1.99 \cdot 10^{-11}.$$

В первом приближении обычно задается  $a=10$  м<sup>2</sup>/сут и по уравнениям или рассчитывается значение  $K_{п}$  в расчетных точках, затем они подставляются в уравнение, по которому определяются уточненные значения  $a$ , используя которые уточняются величины  $K_{п}$  и т.д., пока  $a$  и  $K_{п}$  в ходе итераций не перестанут изменяться в пределах заданной точности их оценки. Возможные вариации действительных значений  $n_0$ ,  $\beta_f$  и  $\beta$  по сравнению с принятыми в расчете практически не влияют на достоверность оценки  $K_{п}$ , но могут изменить величину  $a$  в пределах одного-двух порядков, что вполне допустимо для опытов в одиночных скважинах.

Ориентировочная величина скин-эффекта  $s$ , суммарно характеризующего несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия пласта, для одиночной скважины вычисляется по зависимости (26):

$$s = \left( \frac{K_{п,i}}{K_{п,0}} - 1 \right) \ln \frac{r_3}{r},$$

где  $K_{п,i}$  и  $K_{п,0}$  - проницаемости в удаленной зоне пласта и призабойной зоне (например, полученные по последним и первой сериям расчетных точек),  $r_3$  - радиус зоны призабойного изменения фильтрационных свойств пласта при проходке скважины (обычно около 5 см).

В случае если давление насыщения пластовой воды газом ( $P_g$ ) попадает в интервал между начальным и конечным давлениями КП, то во время притока происходит скачкообразное увеличение коэффициента продуктивности ( $q$ ) при смене двухфазной фильтрации на однофазную, когда  $P_3=P_g$ . В отсутствие выраженного эффекта смыкания трещин это может позволить оценить  $P_g$  по характеру зависимости  $q = f(P_3)$ .

Приведенные выше формулы записаны для условий напорного режима фильтрации. Для безнапорных водоносных горизонтов в них производится переход от давлений к напорам и понижениям уровня и замена  $2Sm$  на  $S(2H-$



S), где  $H$  - мощность безнапорного горизонта. Соответственно,  $a$  в этом случае заменяется на  $ay$  - коэффициент уровнепроводности.

#### **4.3 Численное моделирование гидродинамических и гидрогеохимических процессов**

Развитие в последние десятилетия методов численного моделирования геофильтрации и геомиграции (27-30) привело к появлению целого ряда программных средств, существенно повышающих геологическую эффективность моделирования процессов эксплуатации подземных водозаборов и оценки на этой основе эксплуатационных запасов подземных вод.

Основой численного моделирования является разбиение области фильтрации на относительно однородные блоки, образующие пространственную сетку, между ячейками которой с использованием методов конечных разностей, конечных элементов или граничных интегральных уравнений и моделируются фильтрационные процессы.

По сравнению с традиционно применяемыми методами, практически всегда требующими более или менее значительной схематизации природных условий, такой подход в большинстве случаев позволяет лучше учесть пространственную неоднородность ФЕС пород, сложный характер и разнообразие граничных условий, инфильтрацию, перетекание и другие факторы, реально присущие таким сложным геологическим объектам как месторождения подземных вод. Все это обуславливает возможность получения с их помощью более точных и достоверных оценок эксплуатационных запасов подземных вод и оптимизации водозаборов, хотя, в то же время, современный уровень как теоретического, так и практического развития методов и программ численного моделирования геофильтрации пока еще недостаточен для их применения в весьма сложных гидрогеологических условиях.

Значительный интерес представляет также использование моделирующих программных комплексов для создания и эксплуатации постоянно действующих моделей месторождений подземных вод, постепенно уточняющихся по мере накопления гидрогеологической информации.

За редкими исключениями, такие программные средства в настоящее время весьма дороги, довольно сложны в использовании, часто громоздки и недостаточно сервисны, что сдерживает их широкое внедрение в практику гидрогеологических исследований. Тем не менее, активно продолжающаяся доработка и совершенствование существующих программных продуктов позволяют надеяться на успешное преодоление большинства отмеченных недостатков уже в ближайшие годы. Поэтому можно утверждать, что численному моделированию принадлежит будущее в реализации наиболее масштабных, сложных и дорогостоящих проектов, тогда как в решении сравнительно небольших и относительно простых гидрогеодинамических задач, а также при очень сложных гидрогеологических условиях (месторождения подземных вод III-й группы сложности), более целесообразным пока останется использование охарактеризованных в предыдущих разделах традиционных методов.

В качестве примера алгоритмов, реализующих численное моделирование одновременно как гидродинамических, так и гидрогеохимических процессов, кратко рассмотрим положения, лежащие в основе моделирующих модулей ПК HG32.

Математическое описание процессов, протекающих в фильтрационном потоке подземных вод, складывается из совместного решения задач геофильтрации, массопереноса и взаимодействия раствора с вмещающей твердой фазой пород.

## **Заключение**

Освещая проблему изучения запасов и ресурсов подземных вод, необходимо подчеркнуть, что в основе всех выполняемых на практике построений и расчетов лежит детальность, полнота и качество геолого-гидрогеологических данных, полученных в процессе проведенных исследований. Поэтому основные усилия при выявлении и оценке запасов и ресурсов следует сосредоточить, в первую очередь, на возможном улучшении исходной гидрогеологической информации - на полевых геологических и гидрогеологических изысканиях и наблюдениях. Существует и обратная связь, поскольку все такие исследования должны быть подчинены конечной цели, которая не может быть достигнута без полноценного представления о теоретических и методических основах гидродинамических расчетов и моделирования, выполняемых на завершающих стадиях поисково-разведочных работ на подземные воды.

К настоящему времени накоплен значительный опыт изучения запасов и ресурсов подземных вод, нашедший свое отражение в многочисленной нормативной литературе и действующих инструкциях, регламентирующих основные аспекты гидрогеологических исследований и требования к их составу, объемам и качеству. Но следует помнить, что природа гораздо многообразнее существующего опыта и ее нельзя подчинить даже самым лучшим инструкциям и методическим указаниям. Последние в этой связи могут нести лишь рекомендательный характер. Следовательно, важнейшим условием эффективности геологоразведочного процесса всегда останется творческий, исследовательский подход к каждому конкретному региону и месторождению подземных вод.

Нельзя также не упомянуть о важнейшем значении интенсивно сейчас развивающихся геоэкологических и гидрогеохимических аспектов изучения запасов и ресурсов подземных вод, не рассматривавшихся в настоящей работе ввиду ее ограниченного объема.

### **Список используемой литературы**

1. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. - М.: Недра, 1970. - 215 с.
2. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. - Киев, 1989. - 407 с.
3. Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ СССР технико-экономических обоснований кондиций на минеральное сырье. - М.: ГКЗ СССР, 1984. - 24 с.
4. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям промышленных вод. - М.: ГКЗ СССР, 1985. - 15 с.
5. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям минеральных вод. - М.: ГКЗ СССР, 1985. - 17 с.
6. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям теплоэнергетических вод. - М.: ГКЗ СССР, 1985. - 18 с.
7. Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. - М.: ГКЗ, 1997. - 16 с.
8. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (подземные воды). – М.: МПР РФ, 1998. – 30 с.
9. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод. – М.: МПР РФ, 1998. – 80 с.
10. Методические рекомендации по оценке подземного притока в реки. -Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 96 с.
11. Кононов В.М., Климентов П.П. Методика гидрогеологических исследований. - М.: Высш. шк., 1989. - 395 с.

12. Куделин Б.И. и др. Естественные ресурсы подземных вод Центрально-Черноземного района и методика их картирования. – М.: Изд. МГУ, 1963. - 147 с.
13. Рассказов Н.М., Кусковский В.С., Булатов А.А. и др. Ресурсы пресных подземных вод степных районов Республики Хакасия. – Водные ресурсы. – 1999. - №2. – с. 143-148.
14. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. - М.: Недра, 1988. - 357с.
15. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. - М.: Недра, 1991. – 260с.
16. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод для целей крупного водоснабжения. - М.: Изд. МГУ, 1968. - 470 с.
17. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод. - М.: Недра, 1985. -370 с.
18. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения. / Под ред. Н.Н. Биндемана и др. - М.: Недра, 1969. - 328 с.
19. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод. / Под ред. С.С. Бодаренко, Г.С. Вартамяна - М.: Недра, 1986. - 479 с.
20. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. / Дзюба А.А., Зекцер И.С., Караванов К.П. и др. - Новосибирск: Наука, 1983. - 283 с.
21. Альбом нефтяного оборудования, средств автоматизации и приборов. / Под ред. Ю.В. Вадецкого, А.А. Джавадяна. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988. - 454 с.
22. Василевский В.Н., Петров А.И. Оператор по исследованию скважин. - М.: Недра, 1983. - 309 с.
23. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. / Под ред. С.Р. Крайнова. – М.: Недра, 1988. – 254 с.
24. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии. //Разведка и охрана недр. - 1997. - № 2. - с. 37-39.
25. Бузинов С.Н., Умрихин И.Д. Исследование нефтяных и газовых скважин и пластов. - М.: Недра, 1984. - 269 с.

26. Карнаухов М.Л., Рязанцев Н.Ф. Справочник по испытанию скважин. - М.: Недра, 1984. - 268 с.
27. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. - М.: Недра, 1988. - 229 с.
28. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. - М.: Недра, 1978. - 325 с.
29. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ / Под ред. Р.С. Штенгелова. – М.: Изд-во МГУ, 1994 – 335 с.
30. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т. 1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 611 с.