

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Э. А. Аликин

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД



Пермь 2019

УДК 556.3:504
ББК 26.35+20.1
А50

Аликин Э. А.

А50 Поиски и разведка подземных вод: учебн.-метод. пособие /
сост. Э. А. Аликин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь,
2019 – 52 с.

В пособии рассматриваются теоретические и практические вопросы разведочной гидрогеологии. Представлены закономерности формирования месторождений подземных вод как сложных систем и методы оценки эксплуатационных запасов подземных вод, стадийности поисково-разведочных работ, мероприятия по охране действующих водозаборов от техногенного загрязнения питьевых подземных вод.

Предназначено студентам-гидрогеологам (магистратура), а также аспирантам, обучающимся по профилю «Гидрогеология».

УДК 556.3:504
ББК 26.35+20.1

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: ведущий гидрогеолог ООО «Георесурс-Пермь»
 А. М. Новиков,
 начальник Управления гидрогеологических работ
 ООО НПП «Изыскатель» **М. М. Бикметов**

© ПГНИУ, 2019
© Аликин Э. А., составление, 2019

Оглавление

1. Подземные воды как полезное ископаемое	5
2. Месторождения подземных вод	7
2.1. Месторождение подземных вод как система	7
2.2. Группировка месторождений по сложности геологического строения и гидрогеологических условий	8
3. Запасы и ресурсы подземных вод	11
3.1. Классификация Н.Н. Биндемана	11
3.2. Оценка естественных запасов и ресурсов подземных вод	13
3.2.1. Оценка естественных запасов	13
3.2.2. Оценка естественных ресурсов	15
4. Поисково-разведочные работы	19
4.1. Общие положения	19
4.2. Региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод	19
4.3. Поиски и оценка МПВ	20
4.3.1. Поисковые работы	20
4.3.2. Оценка МПВ	21
4.4. Разведка и освоение МПВ	22
4.4.1. Разведка нового месторождения	22
4.4.2. Разведка МПВ, эксплуатируемого на неутвержденных запасах	23
4.4.3. Доразведка (доизучение) ранее разведанного МПВ	23
4.5. Эксплуатационная разведка	24
4.6. Исключение или совмещение стадий	25
5. Эксплуатационные запасы и методы их оценки	27
5.1. Гидродинамический метод	27
5.1.1. Гидродинамическая схематизация	28
5.1.2. Расчет водозаборов в неограниченном пласте	29
5.1.3. Расчет водозаборов в полуограниченном пласте	30

5.1.4. Расчет водозаборов в замкнутых пластах	32
5.2. Особенности оценки ЭЗПВ методом математического моделирования	32
5.3. Гидравлический метод	33
5.4. Балансовый метод	34
5.5. Метод гидрогеологических аналогов.....	35
6. Прогноз качества подземных вод и их охрана.....	38
6.1. Требования к качеству воды различного назначения	38
6.2. Виды, источники и пути загрязнения подземных вод	39
6.3. Расчет поясов зон санитарной охраны	39
7. Особенности оценки ЭЗПВ минеральных, термальных и промышленных подземных вод	43
7.1. Общие вопросы	43
7.2. Специфические особенности оценки запасов.....	43
Практическое занятие 7	44
Список рекомендуемой литературы	45
Приложения.....	46

1. Подземные воды как полезное ископаемое

Подземные воды являются полезным ископаемым, добыча которого обеспечивает хозяйственно-питьевое и производственно-техническое водоснабжение (пресные воды), санаторно-курортное лечение (минеральные воды), извлечение ценных компонентов (промышленные воды) и использование его как теплоэнергетического сырья (термальные воды). Питьевые пресные подземные воды – стратегический вид полезных ископаемых, поскольку являются единственным источником питьевого водоснабжения населения в период чрезвычайных ситуаций.

В соответствии с действующими законодательными актами РФ (Закон «О недрах», Водный кодекс и др.) добыча подземных вод (более 100 м³/сут) допускается только при оценке их эксплуатационных запасов, которые должны пройти государственную геологическую экспертизу, а также наличии лицензии. Поэтому выявление, оценка и разведка месторождений подземных вод (МПВ) и оценка их эксплуатационных запасов (ЭЗПВ) являются непременным условием их использования как полезного ископаемого.

Отличительная и главная особенность МПР заключается в возобновляемости их запасов. Подземные воды – единственное полезное ископаемое, в процессе эксплуатации которого происходит не только расходование, но во многих случаях и дополнительное формирование, вызванное усилением питания подземных вод при отборе (привлекаемые ресурсы).

Другая существенная особенность связана с подвижностью подземных вод и тесной взаимосвязью с окружающей средой. Эта взаимосвязь проявляется в граничных условиях МПР в плане и разрезе. Эти условия, изучающиеся как естественные, могут изменяться в процессе эксплуатации МПВ и во многом определяют возможность использования подземных вод. Еще одна важная особенность формирования запасов подземных вод заключается в том, что их рациональный отбор зависит не столько от количества находящихся на участке недр или поступающих в него в естественных условиях подземных вод, сколько от фильтрационных свойств водовмещающих пород, определяющих сопротивление движению воды к водозаборным сооружениям.

Резюмируя изложенное, необходимо акцентировать внимание на следующих особенностях специфики МПВ: эксплуатационные запасы подземных вод формируются не только естественным путем, но и формироваться в процессе их эксплуатации (привлекаемые ресурсы). Поскольку ЭЗПВ могут формироваться и возобновляться в процессе их эксплуатации, то количественная оценка запасов определяется в соответствии с заявленной потребностью в воде и на определенный срок эксплуатации месторождения. При вводе МПВ в эксплуатацию изменяются естественно сложившиеся связи и отношения между ним и сопредельными участками недр, поверхностной гидросферой и атмосферой путем включения природных тел в новые связи и отношения, в том числе такие, в которые они сами по себе, стихийно, не включаются. В недрах естественным путем реализуется лишь часть тех возможных отношений между материальными объектами, которые в принципе допускаются их свойствами и объективными природными закономерностями, формируя МПВ различных типов.

Практическое занятие 1

Использование и особенности подземных вод

Порядок выполнения задания:

1. На основании геологического (технического) задания заказчика определить целевое назначение использования подземных вод и требуемое их качество.
2. Обосновать необходимость оценки эксплуатационных запасов подземных вод, их экспертизу и получение лицензии на добычу.
3. Охарактеризовать отличительные особенности подземных вод, определяющие сложность формирования их эксплуатационных запасов.

Список литературы:

Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах».

Аликин Э.А. Методология изучения месторождений подземных вод на основе системного подхода: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2009.

2. Месторождения подземных вод

2.1. Месторождение подземных вод как система

В результате воздействия на недра в процессе эксплуатации МПВ возникают специфические объекты, представляющие собой участки инженерного воздействия на геологическую среду. Структура таких участков складывается прежде всего из элементов геологического и технического происхождения, которые объединяются специфическим образом. По существу, это геолого-технические комплексы (ГТК).

Таким образом, под МПВ понимается участок недр, в пределах которого под влиянием естественных или искусственных факторов (водохозяйственных объектов) и специальных мероприятий происходит концентрация подземных вод, в количественном и качественном отношении обеспечивающая экономически целесообразное их использование по целевому назначению.

Взаимосвязь МПВ с сопредельными участками недр, поверхностной гидросферой и атмосферой, а также возможность трансформации естественных граничных условий при вводе месторождения в эксплуатацию обуславливает необходимо составления как природной (естественной) модели, так и модели эксплуатируемого месторождения, обеспечивающих количественную оценку ЭЗПВ и соответствие качества извлекаемых подземных вод их целевому назначению на расчетный срок его эксплуатации.

Разработка предлагаемого варианта классификации МПВ базируется на системном подходе, основными принципами которого в данном случае являются:

1. Использование пяти универсальных подходов («большой пятерки») к изучению месторождения как системы: таксономии (пространственного положения его в недрах и степени предшествующей изученности), внутреннего строения (формы, состава и свойств его подсистем и элементов), внешних связей с сопредельными системами (соседними участками недр, поверхностной гидросферой и атмосферой), внутреннего функционирования, обеспечивающего условия формирования запасов, генезиса (источников формирования запасов). Из них три (внутреннее

строение, внешние связи и внутреннее функционирование) являются системообразующими, остальные – вспомогательными факторами (таксономия, генезис).

2. Наличие у МПВ как системы нескольких уровней иерархической организации предопределяет усложнение внутренней структуры месторождения при переходе от потенциального МПВ (в естественных условиях) к эксплуатируемому. Это выражается включением в структуру МПВ помимо геологической ещё и технической компоненты (водозаборные сооружения), а также возможностью изменения граничных условий месторождения в плане и разрезе вплоть до их инверсии. Следствием этого является появление дополнительного источника формирования ЭЗПВ – привлекаемых ресурсов.

3. Эксплуатационные запасы подземных вод являются, по существу, эмерджентным свойством месторождения как системы, достоверность которого адекватна степени изученности месторождений. Эмерджентность – это характеристика связей между элементами и подсистемами МПВ в следствие которой структура превращает систему в конкретную целостность, т.е. структура порождает эмерджентные свойства системы, отсутствующие у её компонентов.

4. Промежуточные уровни изученности месторождения в рамках поисково-разведочных работ (этапы и стадии) рассматриваются как синтез универсальных подходов к изучению системы, каждому из которых соответствуют запасы определенной категории (достоверности).

Предлагаемая классификация МПВ для рациональной и эффективной разведки приведена в приложении 1.

2.2. Группировка месторождений по сложности геологического строения и гидрогеологических условий

По сложности разведки и освоения МПВ подразделяются на 4 группы: с простыми, сложными, очень сложными и исключительно сложными гидрогеологическими условиями в соответствии с «Классификацией запасов и ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод». К сожалению, существующие критерии отнесения МПВ к той или иной группе несовершенны и нуждаются в

существенной корректировке. Разведываемые месторождения не «вписываются» в рамки определенной группы по всему набору критериев и представляют промежуточные варианты.

Целесообразно повысить интеграционную определяемость отнесения разведываемого МПВ к той или иной группе сложности по геологическому строению и гидрогеологическим условиям, используя перечень критериев, предложенных автором:

сложность внутреннего строения в естественных условиях и обоснование его прогноза в условиях эксплуатации месторождения;

сложность внешних связей МПВ в естественных условиях и обоснованность их прогноза в условиях эксплуатации месторождения;

сложность обоснования модели потенциального МПВ, сформированного природой или на участке недр с благоприятными условиями для формирования месторождения в процессе его эксплуатации.

Эти критерии в зависимости от своих особенностей подразделяются на 3 группы (простые, сложные весьма сложные). Очевидно, что критерии конкретного месторождения будут относиться к разным уровням сложности. Поэтому предлагается ввести балльную оценку сложности. Поскольку в настоящее время не представляется возможным ранжировать критерии по их приоритетности, они принимаются равнозначными в пределах каждой группы сложности и оцениваются так: в первой группе – 1 балл, во второй – 2 балла, в третьей – 3 балла. При введении этого условия оценка сложности всего разнообразия МПВ (от наиболее простых до наиболее сложных) находится в интервале от 3 до 9 баллов (МПВ 4-й группы ввиду их уникальности не слагаются). При амплитуде в 6 баллов каждой группе сложности отвечает интервал в 2 балла. Тогда группа сложности характеризуется следующим количеством баллов: первая – от 3 до 5, вторая – от 6 до 7, третья – от 8 до 9. Такой метод определения сложности разведываемого месторождения представляется рациональным, позволяющим в дальнейшем перейти к его уточнению путем дифференциации критериев сложности МПВ.

Практическое занятие 2

Месторождения подземных вод как сложная система

1. Изложить принципы изучения сложных систем:

- пять универсальных подходов к изучению МПВ;
- формирование эмерджентности (связей между элементами) как целостности МПВ как системы;
- иерархическая структура МПВ.

2. Охарактеризовать группировку МПВ по сложности геолого-гидрогеологических условий и освоению:

- выделение критериев сложности;
- обоснование балльности критериев для отнесения МПВ к определенной группе сложности.

Список литературы:

Аликин Э.А. Концепция, альтернативная действующей классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод// Разведка и охрана недр. 2013. №6. С. 37-41

3. Запасы и ресурсы подземных вод

3.1. Классификация Н. Н. Биндемана

При определении возможности отбора подземных вод необходимо учитывать два аспекта – балансовый и гидродинамический. Первый определяет обеспеченность отбора водными ресурсами, второй – техническую возможность добычи воды рациональными водозаборными сооружениями.

Перечисленные основные особенности подземных вод (подвижность и возобновляемость запасов) предопределяют необходимость выделения нескольких понятий, характеризующих:

количество воды, находящейся в водоносном горизонте;

количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных условиях, при проведении водохозяйственных мероприятий, а также в связи с эксплуатацией водозаборов;

количество воды, которое может быть отобрано рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями.

Исходя из сущности терминов «запасы» и «ресурсы» Н.Н. Биндеман подразделил запасы и ресурсы по их генезису на естественные запасы и ресурсы, искусственные запасы и ресурсы и привлекаемые ресурсы.

Естественные запасы – это масса (объем) воды в водоносном горизонте в естественных условиях. Поскольку в напорных водоносных горизонтах давление воды выше атмосферного, то часть этих запасов содержится здесь за счет упругих свойств пласта и воды.

Естественные ресурсы – величина питания подземных вод в естественных условиях, которая находит свое отражение в расходе подземного потока. Естественные ресурсы равны сумме всех приходных элементов баланса водоносного горизонта (боковой приток, инфильтрация атмосферных осадков, фильтрация из рек и каналов, перетекание из смежных водоносных горизонтов).

Искусственные запасы – объем подземных вод, образующихся в пласте под влиянием искусственных факторов (орошения, подпора водохранилищами, заводнения пласта).

Искусственные ресурсы – расход воды, идущий на пополнение подземных вод за счет фильтрации на полях орошения, из водохранилищ и каналов или при магазинировании (усиление питания водоносного горизонта).

Привлекаемые ресурсы – дополнительное питание подземных вод, формирующееся при образовании депрессионных воронок в районе водозаборов за счет возникновения или усиления фильтрации из рек, усиления питания атмосферными осадками вследствие уменьшения испарения, усиления или возникновения процессов перетекания из смежных водоносных горизонтов.

Естественные и искусственные запасы выражаются в единицах объема (м^3), а естественные, искусственные и привлекаемые ресурсы – в единицах расхода (л/с , $\text{м}^3/\text{сут}$).

Эксплуатационные запасы – это количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве извлекаемой воды, удовлетворяющем водопотребителя в течение расчетного срока эксплуатации МПВ.

Основное балансовое уравнение имеет вид

$$Q_z = \alpha_1 * Q_{e.p} + \alpha_2 * \frac{V_{e.z}}{t} + \alpha_3 * Q_{i.p} + \alpha_4 * \frac{V_{i.z}}{t} + Q_{пр},$$

где Q_z – эксплуатационные запасы; $Q_{e.p}$ и $Q_{i.p}$ – соответственно естественные и искусственные ресурсы; $V_{e.z}$ и $V_{i.z}$ – естественные и искусственные запасы; $Q_{пр}$ – привлекаемые ресурсы; t – время (расчетный срок водопотребления, сут); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – доля участия того или иного источника формирования ЭЗПВ (коэффициент использования).

Анализ уравнения свидетельствует о том, что эксплуатационные запасы формируются за счет 2 видов запасов и ресурсов:

- сформированных в естественных условиях и в связи с хозяйственными мероприятиями;
- сформированных в условиях эксплуатации водозабора.

Если запасы и ресурсы первого вида могут быть определены при изучении МПВ в естественных условиях, то ресурсы второго вида – посредством целенаправленных опытно-фильтрационных работ с целью формирования модели эксплуатируемого МПВ, ее калибровки.

Эксплуатационные запасы по степени геолого-гидрогеологической изученности и достоверности оценки подразделяются на категории А, В₁, С₁, С₂. Категории определяются в пределах предоставленных в пользование участков недр по результатам геологического изучения и разведки или по данным опытной эксплуатации действующих водозаборных сооружений.

Прогнозные ресурсы подземных вод по степени их обоснованности подразделяются на прогнозные ресурсы P_1 , P_2 , P_3 . Объектами подсчета прогнозных ресурсов являются водоносные горизонты (комплексы) в пределах гидрогеологических структур или их частей (артезианские бассейны, гидрогеологические складчатые области, речные бассейны), а также в пределах субъектов РФ.

3.2. Оценка естественных запасов и ресурсов подземных вод

3.2.1. Оценка естественных запасов

Естественные запасы определяются соответствующими параметрами емкостных свойств водовмещающих пород и подразделяются на гравитационные и упругие.

Гравитационная емкость пласта является отражением способности водовмещающих пород отдавать часть воды свободным стеканием ее под воздействием силы тяжести. Мерой свободной водоотдачи является коэффициент водоотдачи, представляющий собой отношение объема гравитационной воды – V_r к осушенному объему водонасыщенной породы – V_0 , т.е.

$$\mu = \frac{V_r}{V_0}, \text{ где } \mu - \text{коэффициент водоотдачи в долях единицы.}$$

Емкостные запасы – объем гравитационной воды, которая содержится в порах и трещинах водоносного горизонта; их величина V_z составит:

$$V_z = \mu * V, \text{ где } V - \text{объем водоносного горизонта.}$$

Формула справедлива для однородных пластов, для неоднородных преобразуется в виде $V_z = \sum \mu_i * V_i$.

Упругая емкость пластов проявляется в условиях неустановившейся фильтрации при упругом режиме, для которого характерно влияние упругих свойств пород и воды. Упругий режим характерен для напорных водоносных горизонтов, где за счет гидростатического давления и массы вышележащей толщи пород давление выше атмосферного. Поскольку при повышении давления вода сжимается, уменьшаясь в объеме, а в породе одновременно увеличиваются пористость и трещиноватость, в напорных водоносных горизонтах вмещается дополнительное количество воды по сравнению с условиями свободного насыщения, т.е. при атмосферном давлении. Показателем упругой емкости пласта является коэффициент упругой водоотдачи, характеризующий способность пласта отдавать воду при понижении в

нем напора, μ^* является безразмерным параметром, представляющим отношение объема воды V_y , выделяющейся из пласта при понижении напора за счет упругих свойств воды и деформации пород, к объему сформированной при этом воронки депрессии V_g в пьезометрической поверхности, т.е.

$$\mu^* = \frac{V_y}{V_g}.$$

Упругие запасы – количество воды, которое содержится в трещинах и порах пластов и высвобождается при вскрытии пласта и снижении пластового давления за счет объемного расширения при этом воды и уменьшения пустотности водосодержащих пород. Определение упругих запасов производится по формуле

$V_y = \mu_* * V_g = \mu_* * \pi R^2 * S_{cp}$, где V_g – объем воронки депрессии; R – радиус воронки; S_{cp} – средняя глубина воронки.

Величину S_{cp} рекомендуется определять по зависимости

$$S_{cp} = \frac{0.434 * S_0}{\lg R / r_c}, \text{ где } S_0 \text{ – понижение уровня в затрубном про-}$$

странстве эксплуатационной скважины; R – приведенный радиус влияния откачки; r_c – радиус скважины.

Естественные упругие запасы водоносного горизонта V_y по площади его распространения F будут равны:

$V_y = \mu_* * F * H_{cp}$, где H_{cp} – средневзвешенная величина напора над кровлей водоносного горизонта.

Искусственные запасы – объем воды, заполняющий зону аэрации над водоносным безнапорным горизонтом при реализации водоохозяйственных мероприятий. Мерой водонасыщения является коэффициент водонасыщения (μ), представляющий собой отношение объема инфильтрующей воды (V_0) к объему зоны аэрации, превратившейся в водовмещающиеся породы (V_r):

$$\mu = \frac{V_0}{V_r}.$$

Искусственные запасы – объем инфильтрационной воды, насыщающий зону аэрации; величина их составит

$V_i = \mu * V$, где V – объем зоны аэрации, заполненный инфильтрационными водами.

3.2.2. Оценка естественных ресурсов

В безнапорных водоносных горизонтах источниками поступления воды являются инфильтрационное питание, боковой приток, питание из поверхностных водоемов в период паводков, перетекание из нижележащего напорного водоносного горизонта. Расходные составляющие естественных ресурсов – дренирование поверхностными водотоками, испарение, боковой отток и перетекание через подошву в нижележащий водоносный горизонт, родниковая разгрузка.

В напорных водоносных горизонтах формирование естественных ресурсов происходит за счет бокового притока, а также за счет перетекания воды через подошву и кровлю из смежных водоносных горизонтов.

Составляющими разгрузки напорных подземных вод, отражающими их естественные ресурсы, являются боковой отток и перетекание в смежные водоносные горизонты. Результаты количественной оценки естественных ресурсов выражаются в виде расхода подземного потока ($\text{м}^3/\text{сут}$, л/с) или слоя воды, поступающей на питание подземных вод в единицу времени (мм/сут , мм/год).

Естественные ресурсы могут быть подсчитаны либо по величине их суммарного питания, либо по величине их разгрузки. При наличии сведений о площадном питании водоносного горизонта

$Q_{e.p} = \sum \epsilon_i * F_i$, где ϵ_i – величина питания за счет $i = 1, 2, 3$ -го источника питания, представляющая собой количество воды, поступающей на единицу его площади в единицу времени.

Гидродинамический метод оценки естественных ресурсов имеет 2 модификации:

- метод расчета питания грунтовых вод по результатам мониторинга их уровня;

- метод расчета расхода подземного потока по формулам динамики подземных вод (формула Дарси).

Гидрометрический метод основан на определении разности расходов реки в 2 гидрометрических створах (см. рис. 1)

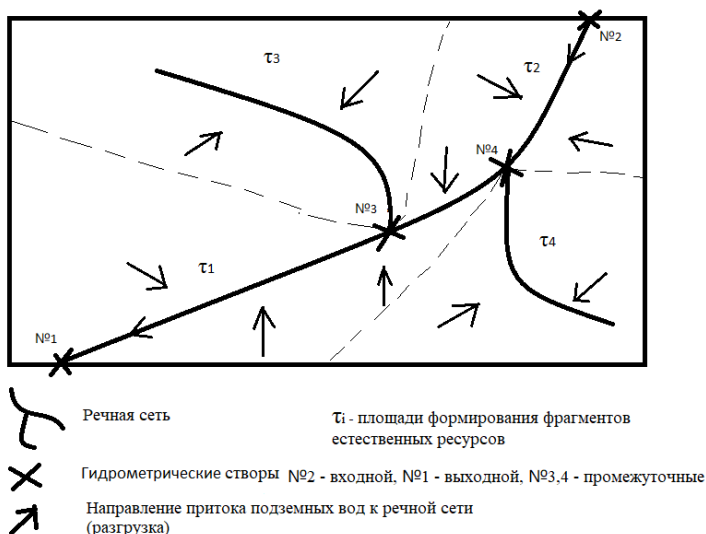


Рис. 1. Площадь участка определения естественных ресурсов подземных вод

Суммарная разгрузка подземных вод в пределах участка определяется по формуле : $\frac{Q_1 - Q_2}{\tau} = M$; где Q_1 и Q_2 – соответственно расход стока основной реки в выходном (№1) и входном (№2) гидрометрическом створе, л/сек.,

τ – площадь участка, км²,

$M_{\text{п}}$ – площадной модуль естественных ресурсов в л/сек/км².

При необходимости можно определить линейный модуль участка по формуле $\frac{Q_1 - Q_2}{r} = M_{\text{л}}$, где r – длина реки от створа №1 до створа №2.

Для дифференциации площади участка по величине площадного модуля дополнительно определяется расход притоков реки (№3 и №4) и их водосборной площади (τ_1 и τ_2). Эти промежуточные расчеты позволяют расчленить площадь участка путем расчета локальных модулей естественных ресурсов ($M_1 \dots M_4$) по формуле $M_i = \frac{Q_i}{\tau_i}$.

Гидродинамические методы

1. Метод расчета естественных ресурсов по колебанию уровня в одной скважине

Для безнапорного потока инфильтрационное питание в период паводка (резкого подъема уровня) определяется по формуле

$$\varepsilon = \mu * \frac{\Delta H + \Delta Z}{\Delta t}; \text{ где}$$

μ – водоотдача водовмещающих пород,

ΔH – величина подъема уровня от уровня зимней межени

ΔZ величина, на которую уровень воды в водоносном горизонте снизился за время Δt за счет оттока воды (боковой отток)

Δt продолжительность паводка, сут.

Величину ΔZ удобно определять по графику режима подземных вод, продлевая линию снижения уровня за время Δt , равное времени повышения уровня до точки А, соответствующей максимальному уровню (рис.2).

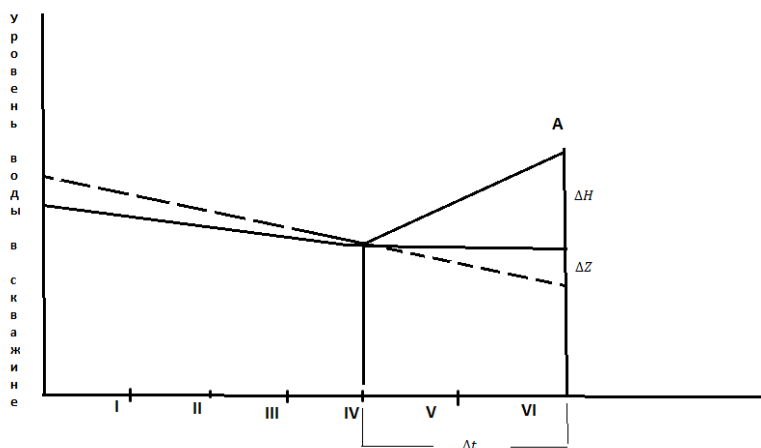


Рис. 2. Схема к расчету питания подземных вод путем анализа их режима

Естественные ресурсы определяются по формуле

$Q_{e.p.} = F * \varepsilon$, где F площадь питания водоносного горизонта

2. Метод расчета расхода подземного потока по формулам динамики подземных вод.

Он сводится к расчету по формуле Дарси, которую применительно к напорным и безнапорным водоносным горизонтам можно представить в виде

$Q_{e.p.} = \frac{K_1 * F_1 + K_2 * F_2}{2} * J$, где K_1 и K_2 – коэффициенты фильтрации водовмещающих пород в сечениях выше и ниже по потоку перпендикулярно направлению движения воды

F_1 и F_2 – соответствующие площади расчетных сечений,

J – средний градиент между сечениями

$$J = \frac{H_1 - H_2}{r}; F = m_i * B_i,$$

где H_1 и H_2 – уровни подземных вод в верхнем и нижнем сечениях;

r – расстояние между сечениями,

B – ширина потока в каждом сечении,

m – мощность водоносного горизонта в каждом сечении.

При равенстве (однозначности) K_ϕ и мощности водоносного горизонта в обоих сечениях формула упрощается:

$$Q_{e.p.} = K_a * m * J * B.$$

Практическое занятие 3

Запасы и ресурсы подземных вод

1. Классификация запасов и ресурсов подземных вод по их генезису.
2. Основное балансовое уравнение и его анализ.
3. Достоверность оценки ЭЗПВ.
4. Оценка естественных запасов подземных вод.
5. Оценка естественных ресурсов подземных вод.
6. Определение модуля естественных ресурсов гидрометрическим методом.

Список литературы:

Доброход Н.И., Язвин Л.С., Боровский Б.В. Оценка запасов подземных вод. Киев: Изд-во «Высшая школа», 1982.

4. Поисково-разведочные работы

4.1. Общие положения

Стадийность геолого-разведочных работ предусматривает возможность оптимизации содержания и технологии ГРП, оперативно-го учета и анализа гидрогеологической изученности объектов для выбора обоснованной методики полевых, оценочных и разведочных работ.

На каждой стадии оцениваются прогнозные ресурсы и (или) ЭЗПВ определенной категории в соответствии с действующей классификацией (2007) и формируются исходные данные для разработки проектных документов по использованию подземных вод. Результаты работ на каждой стадии служат основанием для лицензирования дальнейшего пользования недрами. В зависимости от сложности конкретных гидрогеологических условий отдельные этапы (стадии) могут исключаться из общего процесса ГРП или совмещаться с другими.

По результатам работ на каждой стадии составляется отчет с подсчетом ЭЗПВ, который представляется на государственную геологическую экспертизу. В соответствии с «Положением о порядке проведения ГРП по этапам и стадиям (подземные воды)» (М., 1998) выделяются следующие этапы и стадии ГРП:

этап I – региональное изучение недр для оценки прогнозных ресурсов подземных вод: стадия 1 – региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод;

этап II – поиски и оценка МПВ: стадия 2 – поисковые работы, стадия 3 – оценка МПВ;

этап III – разведка и освоение МПВ: стадия 4 – разведка МПВ, стадия 5 – эксплуатационная разведка.

4.2. Региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод

Объектами изучения могут быть отдельные артезианские бассейны и гидрогеологические массивы, а также речные бассейны, территории отдельных субъектов РФ, наиболее перспективные водоносные горизонты в их пределах.

Основная задача – выявление условий и региональных закономерностей формирования и распространения ресурсов различных типов подземных вод и их прогнозная оценка.

Работы имеют в основном тематический и региональный характер и базируются на обобщении и использовании материалов всех видов ГРР, выполненных ранее на оцениваемой территории, в том числе гидрогеологических съемок различного масштаба, ПРР на подземные воды, эколого-гидрогеологических исследований. Тем не менее не исключена возможность выполнения полевых работ: гидрогеологического обследования территории и действующих водозаборов, гидрометрических работ и гидрохимического опробования подземных вод. Особое место в составе работ занимают математическое моделирование, составление и ведение компьютерных баз данных.

В результате работ оцениваются прогнозные ресурсы подземных вод по категориям P_1 , P_2 , и P_3 ; выделяются наиболее перспективные площади для дальнейших ПРР; дается экспертная оценка обеспеченности ими населения или инфраструктуры. Все это служит основанием для получения лицензии на пользование недрами для их геологического изучения, а также используются для гидрогеологического обоснования схем комплексной эксплуатации и охраны водных ресурсов.

4.3. Поиски и оценка МПВ

Они проводятся с целью выявления и предварительной оценки МПВ различных типов, которые по своим гидрогеологическим, экологическим и экономическим показателям перспективны для разведки и промышленного освоения.

Поиски и оценка МПВ распространяются только на те типы подземных вод, которые указаны в лицензии.

4.3.1. Поисковые работы

Целевое назначение работ – выявление перспективных участков в пределах водоносных горизонтов, выделенных по результатам региональной оценки. Основная задача – выявление МПВ и предварительная оценка ЭЗПВ по категории C_2 (в отдельных случаях C_1+C_2). В зависимости от сложности гидрогеологических условий работы на этой стадии могут включать маршрутное изучение гидрогеологических условий применительно к масштабу 1:50000–1:25000 с использованием при необходимости комплекса геофизических, гидрометрических, гидрохимических работ, дистанционных аэрокосмических методов, бурения и опробования поисковых скважин, их каротажа, обследования действующих водозаборов.

Основной результат – выявление МПВ, на которых целесообразна постановка оценочных работ. Степень изученности ЭЗПВ должна соответствовать категории С₂.

4.3.2. Оценка МПВ

Целевое назначение работ – изучение выявленного МПВ для обоснования его перспективности в удовлетворении заявленной потребности в воде согласно геологическому заданию.

Основными задачами являются:

установление основных факторов и закономерностей формирования ЭЗПВ в пределах выявленного МПВ;

предварительное обоснование иерархической структуры оценивания МПВ;

предварительное определение расчетных гидрогеологических параметров;

гидрогеологическое обоснование принципиальной схемы водозабора;

определение соответствия качества подземных вод их целевому назначению и предварительная оценка возможных изменений качества в процессе эксплуатации водозабора, а также предварительная оценка принципиальной возможности организации ЗСО (зон санитарной охраны) водозабора.

Работы включают следующие виды:

- бурение оценочных и наблюдательных скважин;
- проведение пробных и одиночных опытных откачек;
- геофизические работы (площадные ВЭЗ и каротаж);
- санитарно-гидрогеологическое обследование участков воздействия будущей эксплуатации водозабора (фиксация потенциальных источников загрязнения).

В результате работ МПВ должно быть оконтурено, выделены участки для строительства водозабора, обоснована геолого-экономическая целесообразность его дальнейшего изучения (разведка).

Должна быть проведена предварительная оценка ЭЗПВ по категории С₁ применительно к условной схеме водозабора («большой колодец»). Заключение госгеолэкспертизы на отчет с подсчетом запасов подземных вод является основанием для выдачи лицензии на пользование недрами для добычи подземных вод.

Результаты оценочных работ необходимы для составления предварительного технико-экономического обоснования (ТЭО) инвестиций в строительство водозаборных сооружений.

4.4. Разведка и освоение МПВ

Разведочные работы проводятся с целью получения необходимых данных для разработки проекта строительства нового, реконструкции и расширения существующего водозабора и оценки ЭЗПВ в количестве, обеспечивающем их добычу в соответствии с заявленной потребностью. При этом достоверность оценки запасов подземных вод должна быть доведена до категории. На эксплуатируемых МПВ в результате дополнительных разведочных работ должны быть получены материалы для переоценки ЭЗПВ и обоснования режима эксплуатации водозабора.

Разведка МПВ имеет три модификации:

- разведка нового МПВ;
- разведка МПВ, эксплуатируемого на неутвержденных запасах подземных вод;
- доразведка (доизучение) ранее разведанного МПВ.

4.4.1. Разведка нового месторождения

Она осуществляется на тех участках недр, ЭЗПВ которых прошли госгеоэкспертизу по результатам ранее выполненных ПРР.

Разведочные работы проводятся с целью удовлетворения установленной в лицензии потребности в подземных водах. Выбор участка разведки должен быть согласован с соответствующей администрацией, землепользователем, органом по управлению государственным фондом недр, охраны природы, Роспотребнадзором.

Основной целью работ является обоснование режима эксплуатации МПВ и рациональной схемы водозабора, при этом решаются следующие задачи:

- уточнение и детализация условий формирования ЭЗПВ, прогноз качества извлекаемых подземных вод;
- обоснование расчетной модели эксплуатируемого месторождения;
- обоснование границ поясов ЗСО и уточнение границ горного отвода;

- оценка возможного влияния планируемого водоотбора на различные компоненты природной среды.

Основными видами работ являются:

- бурение разведочных, разведочно-эксплуатационных, наблюдательных скважин и их каротаж;
- проведение опытных и опытно-эксплуатационных откачек одиночных или кустовых;
- гидрохимическое опробование извлекаемых подземных вод и химико-аналитические исследования их качества.

По результатам разведки производится подсчет ЭЗПВ по категории «В». Результаты разведки (отчет) являются исходными данными для ТЭО строительства водозабора и проведения ОВОС в составе проекта водозабора.

4.4.2 Разведка МПВ, эксплуатируемого на неутвержденных запасах

Она заключается в проведении наблюдений за суммарным водоотбором и из каждой эксплуатационной скважины, динамическим уровнем подземных вод, их качеством в течение времени, достаточно для установления основных закономерностей зависимости понижения уровня от дебита. В состав работ могут входить бурение наблюдательных и разведочных скважин, их опробование, отбор проб воды и лабораторные работы.

Основной метод мониторинг режима эксплуатации водозабора

В результате разведки реконструируется природная модель МПВ, обосновывается модель и режим эксплуатации месторождения и проводится оценка ЭЗПВ преимущественно гидравлическим методом.

4.4.3. Доразведка (доизучение) ранее разведанного МПВ

Производится с целью получения необходимых данных для уточнения способа эксплуатации и рациональной схемы водозабора и переоценки ЭЗПВ в следующих случаях:

- при изменении условий формирования ЭЗПВ, связанных с изменением природной или водохозяйственной обстановки;
- при несоблюдении или изменении природоохранных ограничений;
- при неподтверждении ранее утвержденных ЭЗПВ;

- при изменении требований к качеству подземных вод или кондиционных изменений для их добычи.

Доразведка проводится тогда, когда на ранее оцененном МПВ была разведана только часть блоков, а в пределах остальных изученность ЭЗПВ соответствовала категории С₂.

Доразведка на эксплуатируемом МПВ проводится аналогично разведке на МПВ, эксплуатируемом на неутвержденных запасах, на неэксплуатируемых месторождениях и при доразведке новых объектов, содержание работ может быть аналогично разведке нового МПВ.

По результатам работ производится переоценка ЭЗПВ, которая представляется на экспертизу в виде отчета в следующих случаях:

- по условию недропользователя;

- при существенном увеличении или уменьшении (более чем на 20%) ЭЗПВ по сравнению с решением предшествующей экспертизы;

- по истечении срока, на который были утверждены запасы подземных вод

4.5. Эксплуатационная разведка

Проводится в период эксплуатации водозабора на МПВ с утвержденными запасами с целью:

- сопоставления фактических и расчетных параметров режима эксплуатации водозабора;

- получения исходных материалов для переоценки ЭЗПВ в соответствии с вышеуказанными в разделе 4.4.3 случаями, а также с изменением режима эксплуатации и способа водоотбора, необходимых для регулирования и управления рациональным водоотбором.

Эта стадия принципиально отличается от предшествующих тем, что проводится в течение всего периода эксплуатации, а все предшествующие стадии ПРР – как определенный, фиксированный этап геолого-разведочного процесса, завершением которого являются переоценка и переутверждение ЭЗПВ.

Основной вид работ – мониторинг режима эксплуатации месторождения, заключающийся в систематических наблюдениях за дебитом эксплуатационных скважин, уровнями подземных вод, качеством извлекаемых подземных вод, техническим состоянием водозаборных скважин.

В процессе наблюдений проводится текущая оценка количества и качества извлекаемых подземных вод и прогнозируется воз-

можное изменение их качества, оперативно регулируется режим эксплуатации, разрабатываются рекомендации по рациональному водоотбору для снижения затрат на эксплуатацию. Результатом является оценка ЭЗПВ по категории А.

Для хранения и обработки материалов целесообразно формировать компьютерную базу данных.

В случае необходимости переоценки ЭЗПВ (несоответствие расчетных и фактических величин) составляется отчет, который представляется на повторную госгеолэкспертизу.

4.6. Исключение или совмещение стадий

Под исключением отдельных стадий понимается выполнение ГРР с меньшим по сравнению с полным перечнем стадий. Такое исключение целесообразно и возможно в том случае, когда в результате ранее проведенных работ были достигнуты результаты последующей стадии (исключение стадии поисков в регионах, где были выполнены гидрогеологическая съемка масштаба 1:200000 или региональная оценка прогнозных ресурсов, результаты которых позволили обосновать перспективные участки для выявления МПВ соответствующего целевого назначения). В весьма сложных гидрогеологических условиях целесообразно отказаться от стадии разведки, поскольку ее результаты будут не эффективны и весьма затратны, поэтому следует приступить к опытно-промышленной эксплуатации оцененного МПВ (с незначительной потребностью в минеральных водах).

Под совмещением отдельных стадий понимается такой порядок проведения ГРР, при котором простые гидрогеологические условия и предшествующая геолого-гидрогеологическая изученность позволяют разработать и реализовать безальтернативную методику и объемы проектируемых работ не одной, а нескольких последовательных стадий независимо от результатов первой (совмещение всех стадий ПРР при изысканиях источников автономного водоснабжения, а также совмещение стадий оценки и разведки в пределах небольших МПВ III группы сложности, где оценка ЭЗПВ проводится по результатам опытно-эксплуатационной откачки гидравлическим методом).

Соотношение между стадиями ПРР, категориями запасов и видами пользования недрами приведено в приложении 2 (в соответствии с «Временным положением о порядке проведения геолого-разведочных работ по этапам и стадиям. Подземные воды» (М., 1998)).

Практическое занятие 4

Стадийность поисково-разведочных работ

1. Общие положения.
2. Региональная оценка природных ресурсов подземных вод:
 - цель и задачи,
 - методика и основные виды работ,
 - требуемый результат.
3. Полевые работы:
 - цель и задачи,
 - методика и основные виды работ,
 - требуемый результат.
4. Оценочные работы:
 - цель и задачи,
 - методика и основные виды работ,
 - требуемый результат.
5. Разведка месторождения:
 - цель и задачи,
 - методика и основные виды работ,
 - требуемый результат.
6. Эксплуатационная разведка:
 - цель и задачи,
 - методика и основные виды работ.
7. Исключение или совмещение стадий

Список литературы:

Временное положение о порядке проведения геолого-разведочных работ по этапам и стадиям / МРП.М., 1998.

5. Эксплуатационные запасы и методы их оценки

В связи с определением «эксплуатационные запасы» требуемое количество подземных вод доступно при соблюдении следующего неравенства:

$$S_p \leq S_{дон},$$

где S_p – расчетная величина понижения уровня воды в водозаборных скважинах на конец расчетного срока эксплуатации водозабора; $S_{дон}$ – допустимая величина понижения уровня, принимаемая равной 0,5 мощности безнапорного водоносного горизонта и величины напора плюс 0,3–0,4 мощности напорного водоносного горизонта.

Если это неравенство не выдерживается, то это значит, что ЭЗПВ не обеспечены и расчеты следует повторить, увеличив количество скважин и уменьшив их единичный водоотбор, или распределить их на большей площади.

Принятым сроком эксплуатации водозаборов является расчетный, составляющий 25 лет (10^4 сут).

Вышеприведенное неравенство основополагающее, поскольку правомочно для всех существующих методов оценки ЭЗПВ (гидродинамического, гидравлического, балансового и гидрогеологических аналогов).

5.1. Гидродинамический метод

Он основан на использовании для расчета ЭЗПВ математических формул, описывающих положение динамического уровня эксплуатируемого водоносного горизонта на конечный срок его эксплуатации в зависимости от принципиальной расчетной схемы фильтрации подземных вод к водозаборным скважинам, т.е. схемы, имеющей математическое обеспечение. Модификацией его является метод математического моделирования.

Основная формула для расчета ЭЗПВ в напорных изолированных водоносных горизонтах с водопроводимостью « k_m »,

$$S_p = \frac{Q}{4\pi km} * R_c,$$
 где Q – дебит водозабора; S_p – расчетное понижение уровня в водозаборной скважине; R_c – фильтрационное сопротивление водовмещающих пород движению подземных вод к скважинам, определяемое в соответствии с принятой фильтрационной схемой.

В безнапорных водоносных горизонтах используется следующая формула для подсчета ЭЗПВ:

$S_p = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{2\pi k} * R_c}$, где H – мощность безнапорного горизонта; k – коэффициент фильтрации.

При расчете групповых водозаборов, состоящих из нескольких скважин, для упрощения расчетов целесообразно объединять их в так называемые «большие колодцы». В этом случае S_p определяется по формуле

$S_p = S_{об} + \Delta S_c$, где $S_{об}$ – понижение уровня в точке расположения расчетной скважины, вызванное работой «большого колодца»; ΔS_c – дополнительное понижение уровня, вызванное эксплуатацией самой скважины.

5.1.1. Гидродинамическая схематизация

При составлении модели эксплуатируемого МПВ, имеющей математическое обеспечение, схематизации подлежат:

- гидрогеологический разрез оцениваемой области фильтрации;
- граничные условия в плане и разрезе;
- система расположения водозаборных скважин.

Схематизация гидрогеологического разреза сводится к объединению водоносных горизонтов и разделяющих их слабопроницаемых слоев в однослойные, двухслойные, трехслойные и многослойные пласты, для которых существуют аналитические решения или могут быть использованы методы математического моделирования.

В естественных условиях все водоносные горизонты ограничены со всех сторон, однако на работу водозабора могут влиять лишь отдельные границы, а иногда это влияние отсутствует. Приближенно можно считать, что в расчетной фильтрационной схеме должны быть учтены те границы, которые удовлетворяют условию

$$R \leq 1.5\sqrt{at},$$

где R – расстояние от водозабора до соответствующей границы; a – коэффициент пьезопроводности; t – расчетный срок работы водозабора.

При необходимости учета граничных условий реальные криволинейные очертания границ условно заменяются прямолинейными или круговыми.

В конечном счете очертания рассматриваемой области фильтрации сводятся к одной из типовых схем пласта, среди которых различают:

- неограниченный пласт (безграничный), естественные границы которого находятся за пределами возможного влияния водозабора;
- полуограниченный пласт, одна из границ которого оказывает влияние на режим работы водозабора;
- ограниченный пласт, границы которого оказывают влияние на режим работы водозабора с нескольких сторон: пласт-полоса, имеющий параллельные границы, пласт-квадрат, границы которого нормальны друг к другу, пласт-круг с замкнутой границей.

Граничные условия в вертикальном разрезе пласта отражают характер взаимосвязи подземных вод с атмосферой и соседними водоносными горизонтами. По особенностям этих условий пласты подразделяются на открытые, перекрытые и изолированные.

При размещении водозаборных скважин в пределах МПВ в виде линейных рядов, кольцевых батарей или площадных сеток («больших колодцев») радиус r_k вычисляется по следующим зависимостям:

$$\text{для линейной системы } r_k = 0.2l,$$

$$\text{для кольцевой системы } r_k = \frac{L_k}{2\pi},$$

$$\text{для площадной системы } r_k = 0.1P,$$

где l – длина водозаборного ряда скважин; L_k – длина кольцевого контура скважин; P – периметр площади расположения скважин.

5.1.2. Расчет водозаборов в неограниченном пласте

При расчете водозаборов из совершенных скважин с постоянным дебитом (Q) в однородном, напорном неограниченном, изолированном пласте понижение уровня воды S в любой точке, расположенной на расстоянии r от водозаборной скважины, в момент времени можно определить по формуле Тейса

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2.25at}{r^2}.$$

Приняв, что на некотором расстоянии от водозабора понижение уровня равно нулю, В.И. Щелкачев получил выражение для расчета величины приведенного радиуса влияния $R_n = 1.5\sqrt{at}$, подставив R_n в формулу, получим

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{R_n^2}{r^2} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R_n}{r}.$$

Для расчета понижения уровня непосредственно в водозаборной скважине следует заменить r на r_c , т.е. на радиус скважины.

Для группового водозабора формула имеет вид

$$S_p = \frac{Q_{\text{сум}}}{2\pi km} (\ln R_n - \beta_0 \ln r_c - \sum_i^r \beta_i \ln r_i),$$

где $Q_{\text{сум}}$ – суммарный дебит водозабора; r_c – радиус скважины, в которой определяется понижение уровня; r_i – расстояние от нее до каждой из взаимодействующих скважин, $\beta_0 = \frac{Q_0}{Q_{\text{сум}}}$; $\beta_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{сум}}}$; где Q_0 – дебит скважины, в которой рассчитывается S_p , Q_i – дебит i -й скважины.

Формула справедлива, если эксплуатация начата одновременно из всех скважин.

5.1.3. Расчет водозаборов в полуограниченном пласте

При оценке ЭЗПВ схема полуограниченного пласта чаще всего используется в качестве расчетной, если водозабор расположен вблизи реки или вблизи контакта водовмещающих пород с непроницаемыми. Граница целевого горизонта с рекой рассматривается как граница с постоянным напором ($H = \text{const}$), граница с непроницаемыми породами – как граница с постоянным расходом ($q=0$).

В первом случае ($H = \text{const}$) понижение уровня, вызванное откачкой из скважины в любой точке M пласта, составит

$$S = S' - \Delta S'.$$

Во втором случае ($q=0$)

$S = S' + \Delta S'$, где S' – понижение уровня, которое имело бы место в точке M воображаемого неограниченного пласта за счет откачки из реальной скважины; $\Delta S'$ – повышение или понижение уровня, которое имело бы место в той же точке за счет налива воды с расходом откачки в фиктивную скважину или откачки из фиктивной скважины (рис.3).

$$S_p = \frac{Q}{4\pi km} \left(\ln \frac{2.25at}{r^2} \pm \ln \frac{2.25at}{\beta^2} \right) = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{\beta}{r}; \quad S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{2.25at}{\beta * r},$$

где r – расстояние от точки M до реальной скважины; β – расстояние от точки M до фиктивной скважины.

При определении понижения уровня в скважине, из которой производится откачка, формула принимает вид

$$S_p = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{2a}{r_c}; \quad S_p = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{2.25at}{\rho_x 2a}, \quad \text{где } a \text{ – расстояние от скважины до 2-й границы; } r_c \text{ – радиус скважины.}$$

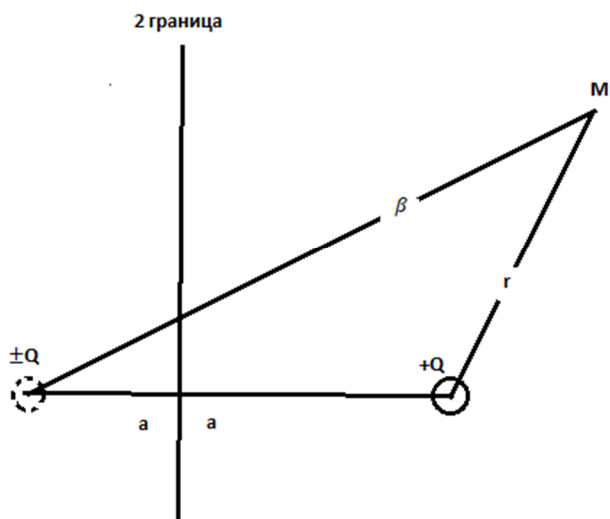


Рис. 3. Схема полуограниченного пласта

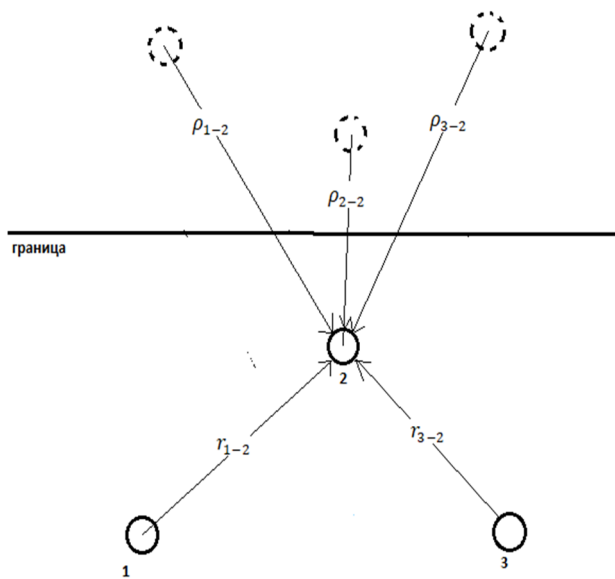


Рис. 4. Схема расчета взаимодействующих скважин

При расположении взаимодействующих скважин любым образом на площади водозаборного участка можно рассчитать понижение уровня S_0 в каждой скважине при работе ее как одиночной с дебитом Q_0 и срезки ΔS_i , вызванных работой остальных скважин с дебитом Q_i . Суммируя S_0 и ΔS_i , полное понижение в расчетной скважине S_p находится по формулам

$$\text{граница Н-const} \quad S_p = \frac{Q_{\text{сум}}}{2\pi k m} \left(\beta_0 \ln \frac{\rho_0}{r_c} - \sum_i^n \beta_i \ln \frac{\rho_i}{r_i} \right),$$

$$\text{граница } q=0 \quad S_p = \frac{Q_{\text{сум}}}{2\pi k m} \left(\beta_0 \ln \frac{2.25at}{r_c \rho_0} + \sum_i^n \beta_i \ln \frac{2.25at}{r_i \rho_i} \right), \text{ где } r_c -$$

радиус скважины, в которой определяется S_p , $\beta_0 = \frac{Q_0}{Q_{\text{сум}}}$; $\beta_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{сум}}}$.

5.1.4. Расчет водозаборов в замкнутых пластах

Величина понижения уровня в пласте, ограниченном круговым контуром питания, определяется по формуле

$$S_p = \frac{Q}{2\pi k m} \ln \frac{R_k}{r_c}, \text{ где } R_k - \text{расстояние до границы.}$$

То же в пласте, ограниченном круговым непроницаемым контуром:

$$S_p = \frac{Q}{2\pi k m} \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + \ln \frac{2at}{R_k^2} \right) - 0.75.$$

5.2. Особенности оценки ЭЗПВ методом математического моделирования

Наиболее распространено уточнение естественных условий путем решения обратных задач по воспроизведению потоков подземных вод в естественных и нарушенных эксплуатации условиях. На уточненной благодаря решению этих задач математической модели (калибровка) выполняются все прогнозные расчеты.

При втором подходе, учитывая неоднозначность решения обратных задач при необходимости корректировки 2–3 параметров, изменения в исходную модель не вносятся. Расчетное значение темпа снижения уровня, полученное методом моделирования, сопоставляется с натурным значением. По их соотношению интегрально оценивается величина ЭЗПВ, которая квалифицируется по более низким категориям.

Применение моделирования наиболее эффективно в неоднородных по фильтрационным свойствам водоносных горизонтах, многопластовых водоносных системах, а также при большом количестве взаимодействующих водозаборов.

5.3. Гидравлический метод

Он заключается в использовании для расчета ЭЗПВ эмпирических зависимостей между дебитом и понижением уровня в водозаборной скважине и между понижением уровня и временем, которые устанавливаются по данным опытных откачек.

В обобщенном виде зависимость для расчета одиночных скважин представляется в следующем виде:

$$S_p = S_0 + \Delta S_0(t),$$

где S_p – расчетное понижение уровня при эксплуатационном дебите Q_3 на конечный срок эксплуатации; S_0 – понижение уровня в расчетной скважине, определяемое по зависимости дебита от понижения для заданного проектного дебита Q_3 на момент окончания откачки; $\Delta S_0(t)$ – дополнительное понижение уровня в скважине, эксплуатируемой с Q_3 за время от окончания откачки до конца срока, на который рассчитываются ЭЗПВ.

Для определения S_p опытная откачка проводится как минимум с 2 ступенями дебита. Чаще всего реальной оказывается эмпирическая зависимость Дюпюи следующего вида: $S_3 = aQ_3 + bQ_3^2$, где a и b – эмпирические коэффициенты.

Использование этой зависимости для расчетов обосновано в том случае, если график зависимости удельного понижения уровня воды \bar{S} от дебита, построенный по опытным данным, представляет собой прямую линию (рис.4). Тогда начальная ордината прямой выражает параметр «а», а тангенс угла наклона прямой к оси Q равен параметру «b».

Определение параметра S_0 выполняется аналитически (по вышеприведенной формуле) или графоаналитически, согласно рис.4.

$$\bar{S}_3 = \frac{S_3}{Q_3}; \text{ тогда } S_3 = \bar{S}_3 * Q_3.$$

$$\bar{S}_3 = \frac{S_3}{Q_3}; \text{ тогда } S_3 = \bar{S}_3 * Q_3.$$

Дополнительное снижение уровня $\Delta S_0(t)$ определяется по формуле:

$$\Delta S_0(t) = \frac{Q_3}{Q_0} (S_2 - S_1) \frac{\ln \frac{t_3}{t_2}}{\ln \frac{t_2}{t_1}}, \text{ где } Q_0 \text{ — дебит опытной откачки, } S_1 \text{ —}$$

понижение уровня в момент времени t_1 от начала откачки, S_2 — то же в конце откачки, t_3 — расчетное время эксплуатации.

При откачках в условиях установившейся фильтрации слагаемое $\Delta S_0(t)$ будет равным нулю.

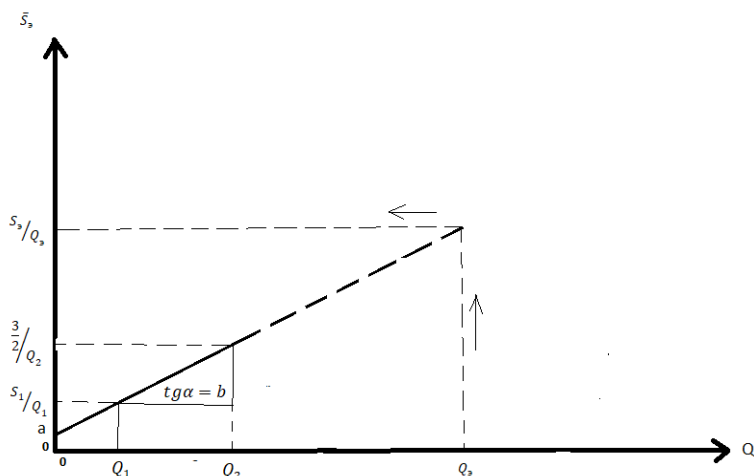


Рис. 5. График зависимости $\bar{S} = f(Q_3)$

5.4. Балансовый метод

Применение балансового метода заключается в оценке составляющих баланса подземных вод на площади оценки запасов. При этом определяются приходные и расходные статьи подземного потока или бассейна в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях. На основании балансовых расчетов можно дать оценку обеспеченности ЭЗПВ, подсчитанных другими методами. Критерием обеспеченности является баланс проектного дебита водозабора и составляющих его формирование ЭЗПВ за счет естественных запасов и ресурсов, искусственных запасов и ресурсов, обусловленных эксплуатацией водохозяйственных систем и привлекаемых ресурсов в

процессе использования подземных вод. Обеспеченными следует считать ЭЗПВ при соблюдении следующего равенства:

$$Q_{\text{э}} = \alpha Q_{\text{е}} + \alpha \frac{V_{\text{е}}}{t_{\text{э}}} + \alpha Q_{\text{и}} + \alpha \frac{V_{\text{и}}}{t_{\text{и}}} + Q_{\text{пр}},$$

где α – доля использования естественных и искусственных запасов и ресурсов, обычно принимается за 0.5.

Когда ЭЗПВ формируются с участием $Q_{\text{е}}$, при оценке их обеспеченности могут приниматься среднегодовые, среднемесячные или среднемеженные значения. Использование тех или иных характеристик определяется возможностью регулировать обеспечение водоотбора другими источниками формирования ЭЗПВ во внутригодовом разрезе (прежде всего емкостными запасами, а также из поверхностных источников).

Применяя балансовый метод, можно оценить только среднюю величину снижения уровня в пределах балансового участка, естественно, что эксплуатационные понижения уровня в скважине рассчитывать нельзя.

5.5. Метод гидрогеологических аналогов

Этот метод заключается в экстраполяции данных с участка-аналога на оцениваемый участок. При этом может быть принят метод частичной или полной аналогии.

Для подсчета ЭЗПВ по аналогии обычно используется величина площадного или линейного модуля ЭЗПВ. Площадной модуль $M'_{\text{э}}$ представляет собой водоотбор подземных вод в л/с, который можно получить с 1 км² площади распространения воронки депрессии в водоносном горизонте при заранее обусловленном понижении уровня воды и расчетном сроке эксплуатации. Величина площадного модуля на участке-аналоге определяется по формуле

$$M'_{\text{э.а}} = \frac{Q_{\text{э}}}{F},$$

где $Q_{\text{э}}$ – ЭЗПВ (л/с) на площади распространения воронки депрессии;

F – площадь воронки депрессии, км².

Линейный модуль ЭЗПВ выражает расход водозабора $Q_{\text{л/с}}$, приходящийся на 1 км его длины. Для участка-аналога его величина рассчитывается по данным разведочных работ или эксплуатации водозабора по формуле $M''_{\text{э.а}} = \frac{Q}{L}$.

Для оценки ЭЗПВ методом аналогии обязательно должна быть доказана идентичность (тождественность) гидрогеологических условий оцениваемого участка с эксплуатируемым или детально разведанным. Важно отметить, что сходство двух объектов обосновывается не по абсолютным значениям расчетных параметров, а по закономерностям их изменения по площади и в разрезе, а также граничным условиям и источникам формирования.

При оценке ЭЗПВ количественные критерии вводятся в расчет определением соотношения тех или иных гидрогеологических показателей и соответствующей корректировкой величины площадного или линейного модуля для оцениваемого участка по сравнению с участком-аналогом. В частности, коррективы могут вноситься по соотношению величины k_m и эксплуатационного понижения уровня. Для напорных и безнапорных водоносных горизонтов

$$M_{э.н} = M_{э.а} \frac{k_n * m_n * S_p}{k_a * m_a * S_э}, \quad M_{э.а} = \frac{k_n(2H_n - S_p)S_p}{k_a(2H_a - S_a)S_a}.$$

Рассчитав модуль, нетрудно определить величину ЭЗПВ водоносного горизонта в целом или его отдельного участка:

$$Q_{пр} = M'_{э.н} * F \text{ или } Q_{пр} = M''_{э.н} * L,$$

где $M'_{э.н}$ и $M''_{э.н}$ – расчетные величины соответственно площадного и линейного модуля запасов на новом участке, F и L – соответственно площадь воронки депрессии и длина водозабора.

Прогноз эксплуатационных понижений на новом участке может быть выполнен по зависимостям соответственно для напорных и безнапорных подземных вод:

$$S_p = S_a \frac{Q_n * k_a * m_a}{Q_a * K_n * m_n}, \quad S_p = H_n - \sqrt{H_n^2 - S_a(2H_a - S_a) \frac{Q_n * k_a}{Q_a * K_n}},$$

где Q_a и Q_n – суммарный дебит водозабора (ЭЗПВ) соответственно на участке-аналоге и новом участке; H_n и H_a – мощность безнапорного водоносного горизонта соответственно на новом участке и участке-аналоге.

Практическое занятие 5

Эксплуатационные запасы и методы их оценки

Методы оценки ЭЗПВ

1. Основные условия оценки ЭЗПВ:

соблюдение неравенства $S_p \leq S_{доп}$,

расчетный срок эксплуатации МПВ – 25 лет (10000 сут).

2. Гидродинамический метод.
 - 2.1 Гидродинамическая схематизация.

Гидрогеологический разрез целевого водоносного горизонта.
Граничные условия в плане и разрезе.
Система расположения водозаборных скважин.
 - 2.2. Расчет водозаборов в неограниченных пластах.
 - 2.3. Расчет водозаборов в полуограниченных пластах.
 - 2.4. Расчет водозаборов в замкнутых пластах.
3. Особенности математического метода оценки ЭЗПВ.
 - 3.1. Уточнение природных условий или условий предшествующей эксплуатации методом решения обратных задач.
 - 3.2. Неоднозначность расчетной модели МПВ.
4. Гидравлический метод.
 - 4.1. Использование элементарных зависимостей между дебитом и понижением $S=f(Q)$ и между понижением и временем эксплуатации $S=f(t)$.
 - 4.2. Методика графоаналитического и аналитического расчета S_3 .
5. Балансовый метод.

Цель метода.
Обоснование обеспеченности рассчитанных ЭЗПВ.
6. Метод гидрогеологических аналогов.

Обоснование аналогичности 2-х месторождений.
Определение линейного или площадного модуля ЭЗПВ.

Список литературы:

Доброход Н.И., Язвин Л.С., Боровский Б.В. Оценка запасов подземных вод. Киев: Изд-во «Высшая школа», 1982.

6. Прогноз качества подземных вод и их охрана

Оценка ЭЗПВ предусматривает изучение не только их количества, но и особенностей качественного состава. При эксплуатации водозабора возможно улучшение или ухудшение качества извлекаемых вод за счет подтягивания к нему подземных вод другого качества. Поэтому на участке проектируемого водозабора проводятся исследования физических свойств, химического состава и санитарно-бактериологического состояния подземных вод в естественных условиях, а также составляется прогноз сохранения (изменения) качества воды в процессе будущей эксплуатации.

Требования к качеству подземных вод определяются целевым назначением их использования. Основными показателями пригодности воды для различных целей являются ее свойства, состав и концентрация содержащихся в ней солей и примесей.

Особые требования предъявляются к качеству питьевой воды, так как от этого в значительной степени зависит здоровье населения.

6.1. Требования к качеству воды различного назначения

Вода хозяйственно-питьевого назначения должна соответствовать нормам качества, которые установлены государственным стандартом СанПиН 2.1.4.1074-01.

Если вода не отвечает этим требованиям, то соответствующей обработкой (осветление, обесцвечивание, обеззараживание, умягчение, уменьшение концентрации тяжелых металлов) ее доводят до необходимых норм. Основные требования, которым должна соответствовать вода для питьевых целей, следующие:

Показатели	Норма
Сухой остаток	не более 1000 мг/дм ³
Содержание сульфатов	не более 500 мг/дм ³
Содержание хлоридов	не более 350 мг/дм ³
Мутность по шкале	не более 1.5
Цветность по шкале	не более 20 градусов
Общая жесткость	не более 7 мг/экв/л
Общее количество бактерий в 1 мм воды	не более 100
Количество бактерий кишечной палочки в 1 л воды	не более 3

В исключительных случаях по согласованию с органами санэпиднадзора допустимо увеличение цветности воды до 35° , жесткости – до 10 мг/экв/л, содержание сухого остатка – 1500 мг/дм³.

6.2. Виды, источники и пути загрязнения подземных вод

Загрязнение подземных вод представляет собой такие изменения качества (состава и свойств) воды, при которых она становится частично или полностью непригодной для использования. По характеру проявления и последствиям различают пять видов разнообразных техногенных загрязнений подземных вод: бактериальное, химическое, радиоактивное, механическое, тепловое.

Кроме техногенных источников загрязнения пресных подземных вод существуют природные; к ним относятся поверхностные и подземные воды, а также атмосферные осадки некондиционного состава. Чаще всего они отличаются повышенной общей минерализацией, общей жесткостью и содержанием тяжелых металлов. Они могут находиться в эксплуатируемом водоносном горизонте, окружать и подстилать кондиционные подземные воды.

Техногенные источники загрязнения создаются под влиянием хозяйственной деятельности человека. Основными из них являются хозяйственные отходы (стоки), поступающие в водоносный горизонт из отстойников, шламохранилищ, свалок, складов хранения нефтепродуктов и ядохимикатов.

6.3. Расчет поясов зон санитарной охраны

Одним из важнейших мероприятий по охране подземных вод в районе водозабора является создание вокруг него зон санитарной охраны. В состав ЗСО входят три пояса: первый – пояс строгого режима; второй и третий – пояса ограничений. Граница первого пояса устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора при использовании естественно защищенных подземных вод и на расстоянии 50 м при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

Второй пояс предназначен для защиты целевого водоносного горизонта от микробного загрязнения. Основным параметром, определяющим расстояние от границы второго пояса до водозабора является расчетное время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору, которое должно быть достаточным для утраты жизнеспособности микроорганизмов, т.е. эффективного самоочи-

щения. Граница второго пояса определяется гидродинамическими расчетами исходя из условий, что если за ее пределами через зону аэрации или непосредственно в целевой водоносный горизонт поступит микробное загрязнение, то оно не достигнет водозабора. Расчетное время в зависимости от климатических условий изменяется от 100 до 400 сут.

Третий пояс предназначен для защиты подземных вод от химического загрязнения. Расположение границ третьего пояса определяется гидродинамическими расчетами исходя из условия, что если за ее пределами в водоносный горизонт поступят химические загрязнения, то они не достигнут водозабора, перемещаясь с подземными водами вне области питания, или достигнут водозабора, но не ранее расчетного времени, которое больше расчетного срока эксплуатации водозабора.

При наличии естественного потока на схеме выделяются следующие характерные участки:

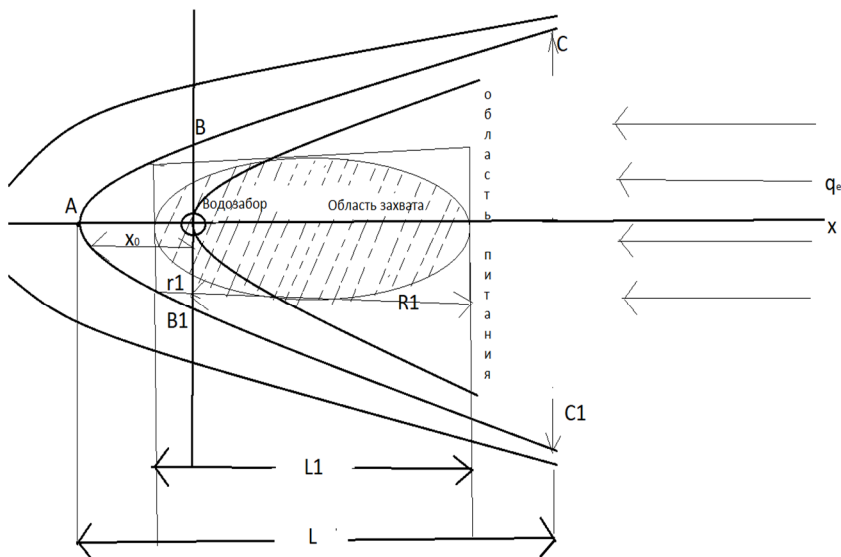


Рис. 6. Схема фильтрации подземных вод к водозабору

1. Область питания водозабора, ограниченная нейтральной линией тока; в ее пределах все линии тока заканчиваются на водозаборе, за пределами области питания линии тока огибают водозабор, и располагающиеся здесь частицы загрязнения никогда не достигнут водозабора.

2. Область захвата водозабора, которая формируется за время работы водозабора T_m и составляет часть области питания. Частицы воды, располагающиеся внутри области захвата, к концу расчетного времени T_m обязательно поступят к водозабору. Если в пределах области захвата имеются поверхностные потоки, ограничивающие распространение воронки депрессии, границы ЗСО должны быть соответственно скорректированы.

Нейтральная линия тока (границы 3-го пояса ЗСО) может быть установлена (чаще всего) гидродинамическим методом. Он заключается в выявлении координат характерных точек этой линии. Такими точками являются водораздельная точка А вниз по естественному потоку подземных вод от водозабора, точки В и B_1 и С и C_1 . Расчетной координатой точки А является расстояние x_0 от водозабора до водораздельной точки по линии $y=0$:

$x_0 = \frac{Q}{2\pi q_e}$, где Q – дебит водозабора; q_e – удельный естественный поток подземных вод;

$q_e = km * j$, где j – уклон естественного потока.

Расчетными координатами точек В и B_1 являются ординаты нейтральной линии тока $\mp y_0$ в створе водозабора ($x=0$), перпендикулярные направлению естественного потока $\mp y_0 = \frac{Q}{4q_e}$.

Положение точек С и C_1 находят, вычисляя ординаты при

$$\mp y_0 = \frac{Q}{2q_e}.$$

Длина области питания (L) определяется по формуле

$$L = \frac{q_e * T}{2mn} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4mnx_0}{q_e * T}} \right).$$

Границы 2-го пояса ЗСО определяются следующим образом:

ширина области захвата (d) по формуле: $d = \frac{2TQ}{\pi mnL_1}$; где

$$L_1 = R_1 + r_1;$$

Протяженность вверх по потоку от водозабора и время движения частиц к водозабору могут быть определены из уравнения

$$\bar{T} = \bar{R}_1 - \ln(1 + \bar{R}_1), \text{ где } \bar{T} = q_e T / m n x_0, \bar{R}_1 = \frac{R}{x_a};$$

при определении границы вниз по потоку (r_1) используется формула $\bar{T} = \ln(1 - \bar{r}_1) - \bar{r}_1$; где $\bar{r}_1 = \frac{r}{x_a}$.

Практическое занятие 6

Прогноз качества подземных вод и их охрана

Охрана подземных вод от истощения и загрязнения

1. Требования к качеству подземных вод: питьевых, технических, минеральных.
2. Виды источников и пути загрязнения подземных вод:
 - природное загрязнение,
 - техногенное загрязнение (5 видов).
3. Расчет поясов зон санитарной охраны и их назначение
 - размеры 1-го пояса,
 - размеры 2-го пояса,
 - размеры 3-го пояса,
 - нейтральная линия тока.

Список литературы:

1. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.
2. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения/ ВНИИ «Водгео» Госстроя СССР.М., 1983.

7. Особенности оценки ЭЗПВ минеральных, термальных и промышленных подземных вод

7.1. Общие вопросы

В настоящее время эти типы подземных вод широко эксплуатируются для удовлетворения потребностей населения и промышленности.

В целом условия и источники формирования запасов этих вод во многом сходны с аналогичными пресными подземными водами. Следует отметить, что для них участие в формировании запасов привлекаемых ресурсов (подземных вод других водоносных горизонтов) может привести к такому изменению химического и газового состава и температуры, при которых эти показатели не будут соответствовать кондиционным требованиям. В связи с этим эксплуатационные запасы должны ограничиваться такой величиной, отбор которой исключает привлечение вод некондиционного состава и температуры.

Оценка запасов этих вод проводится гидродинамическим, гидравлическим методами, методом гидрогеологических аналогов или их совместным применением. При этом гидродинамические методы являются основными при оценке запасов в артезианских бассейнах, а гидравлические – в горно-складчатых массивах, в районах современного вулканизма.

7.2. Специфические особенности оценки запасов

1. Как правило, водоносные горизонты, содержащие промышленные и термальные воды, залегают на больших глубинах и характеризуются высокими температурами и наличием растворенного газа в воде. При эксплуатации их газовый и температурный факторы выступают в качестве дополнительного источника энергии, способствующего снижению затрат на извлечение подземных вод на поверхность земли. Противоположное влияние оказывает сопротивление, возникающее в водоподъемных трубах при движении воды от забоя к устью скважины, в результате чего происходит потеря гидродинамического напора.

2. Важнейшей особенностью оценки запасов является необходимость обоснования устойчивости (или допустимых изменений) качества воды, а термальных вод – температуры в процессе их эксплуатации. Для МПВ пластового типа, приуроченных к артезианским бассейнам, такой прогноз может быть выполнен гидродинамическим методом. Несоизмеримо большое значение имеет доказательство устойчивости состава и температуры подземных вод при оценке их запасов в трещинно-жильных структурах. Такие участки недр относятся к 3-й и 4-й группам по сложности геологического строения и гидрогеологи-

ческих условий. В пределах участков 3-й группы по результатам геологического изучения достаточно выделить только запасы категории C_2 , а разведки – категории C_1 . В пределах участков 4-й группы по данным геологического изучения и (или) разведки выделяются запасы категории C_2 . В этих условиях поставленная задача решается проведением дополнительных опытно-эксплуатационных откачек (выпусков), в процессе которых идут наблюдения за ионно-солевым составом, содержанием газов и температурой извлекаемых подземных вод.

3. Месторождения промышленных и термальных вод обычно приурочены к глубокозалегающим водоносным горизонтам (1–3 км), содержащим высокоминерализованные воды и рассолы. В связи с этим при эксплуатации таких месторождений необходимо проводить мероприятия по сбросу (захоронению) использованных вод. Поэтому при оценке запасов этих вод необходимо технико-экономическое обоснование рентабельности эксплуатации с учетом затрат на ПРП полигона захоронения и его эксплуатацию.

4. При оценке запасов кроме самого подсчета необходимо определять:

а) для промышленных вод – их общее количество в m^3 и количество содержащихся в них полезных компонентов (в тоннах), которое будет получено за расчетный срок эксплуатации;

б) для термальных вод – теплоэнергетическую мощность МПВ (в Гкал/час, тоннах установленного топлива).

Практическое занятие 7

Специфика оценки эксплуатационных запасов

1. Роль привлекаемых ресурсов в оценке ЭЗПВ.

2. Используемые методы оценки ЭЗПВ.

3. Специфические особенности:

- газовый и температурный факторы,
- допустимая степень изученности МПВ,
- необходимость захоронения использованных рассолов,
- дополнительные критерии оценки ЭЗПВ для промышленных и термальных вод.

Список литературы:

Дробноход Н.И., Язвин Л.С., Боровский Б.В. Оценка запасов подземных вод. Киев: Изд-во «Высшая школа», 1982.

Методические рекомендации по применению классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод/ Министерство природных ресурсов. М., 2007.

Список рекомендуемой литературы

Аликин Э.А. Концепция, альтернативная действующей классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод // Разведка и охрана недр. 2013. № 6. С.37–41.

Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1979.

Дробноход Н.И., Язвин Л.С., Боревский Б.В. Оценка запасов подземных вод. М.: Высшая школа, 1982.

Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения / ВНИИ «ВОДГЕО». М., 1983.

Приложения

Таблица 1

I. Таксономия

Гидродинамические зоны	Изучаемое МПВ			МПВ в нераспределенном фонде недр (законсер.)		Эксплуатируемое МПВ	
	Не выявленное	Выявленное	Оцененное	Не подготовленное к эксплуатации	Подготовленное к эксплуатации	Не на утвержденных запасах	На утвержденных запасах
Зона активного водообмена (преимущественно пресные воды)	Поисковая стадия	Оценочная стадия	Разведочная стадия	В соответствии со степенью изученности	Разведка (доразведка)	Разведка	Эксплуатационная разведка
Зона затрудненного водообмена (преимущественно минеральные воды)							
Зона весьма затрудненного водообмена (промышленные и теплоэнергетические воды)							

II. Структура МПВ

Иерархическое строение МПВ		Геологическая компонента		Техническая компонента	
Модель эксплуатируемого МПВ		Модель природного МПВ			
П-А-1-а Однослойный пласт		П-А-1-а Однородный		П-А – Водоотемняющие породы	П-Г – Водогазоборные сооружения
П-А-1-б Двухслойный пласт		П-А-1-б Неоднородный			
П-А-1-в Многослойный пласт		П-А-1-в Весьма неоднородный			
П-А-2-а Однородные фильтрационные свойства		П-А-2-а Поровый коллектор		П-А-2 – Подземные воды	П-В – Граничные условия
П-А-2-б Неоднородные фильтрационные свойства		П-А-2-б Трещинный коллектор			
П-А-2-в Весьма неоднородные фильтрационные свойства		П-А-2-в Трещинно-жильный карстовый коллектор			
П-Б-1-а Стабильный состав		П-Б-1-а Химический состав		П-Б-1 – Состав	П-Б-2 – Свойства
П-Б-1-б Смешение различных типов подземных вод		П-Б-1-б Микробиологический состав			
		П-Б-1-в Микрокомпонентный состав			
П-Б-2-а Не требующие водоподготовки		П-Б-2-а Однородные по качеству		П-Б-2 – Свойства	П-В-1 – В плане
П-Б-2-б Нуждающиеся в водоподготовке		П-Б-2-б Неоднородные по качеству			
П-В-1-а Неограниченный пласт		П-В-1-а Площадные		П-В-1 – В разрезе	П-Г-1 – Вертикальные скважины
П-В-1-б Ограниченный пласт		П-В-1-б Линейные			
П-В-1-в Не схематизируемый пласт		П-В-1-в Неясно выраженные			
П-В-2-а Безнапорный однослойный		П-В-2-а Открытые		П-В-2 – В разрезе	П-Г-2 – Горизонтальные дрены
П-В-2-б Условно напорный двух-трехслойный		П-В-2-б Перекрытые			
П-В-2-в Напорный однослойный		П-В-2-в Изолированные			
П-Г-1-а Одиночная	Система размещения кон-структив				
П-Г-1-б Групповая					
П-Г-1-в Фильтровая					
П-Г-1-г Бесфильтровая					
П-Г-1-д Непрерывный					
П-Г-1-е Прерывистый					
П-Г-2-а Одиночная					
П-Г-2-б Лучевая					

Таблица 3

III. Внешние связи (Рассматриваются балансовые составляющие естественного режима и режима эксплуатации)

Модель МПВ	III-A – подземная гидросфера			III-B – поверхностная гидросфера			III-B – атмосфера		
	III-A-1 Питание	III-A-2 Разгрузка	III-A-3 Связь отсутствует	III-B-1 Питание	III-B-2 Разгрузка	III-B-3 Связь отсутствует	III-B-1 Питание	III-B-2 Разгрузка	III-B-3 Связь отсутствует
Природного	III-A-1-а Боковой приток III-A-1-б Нисходящая или восходящая фильтрация	III-A-2-а Боковой отток III-A-2-б Нисходящая или восходящая фильтрация	–	III-B-1-а Нисходящая фильтрация 1) в период паводков 2) в период орошения	III-B-2-а Боковой отток III-B-2-б Восходящая фильтрация в поверхностный водоем	–	III-B-1-а Инфильтрация	III-B-2-а Родниковый сток III-B-2-б Испарение	–
Эксплуатируемого	III-A-1-а Перехват естественных ресурсов III-A-1-б Формирование и использование привлекаемых ресурсов	III-A-2-а Уменьшение или прекращение бокового оттока III-A-2-б Прекращение фильтрации в смежные горизонты	–	III-B-1-а Фильтрация поверхностных вод 1. Формирование и исп. искусственных запасов и ресурсов. 2. Форм. и исп. привлекаемых ресурсов. .	III-B-2-а Прекращение или сокращение боковой фильтрации III-B-2-б Сокращение восходящей фильтрации	–	III-B-1-а Питание подземных вод Формирование и использование естественных запасов	III-B-2-а Прекращение или уменьшение родникового стока III-B-2-б Прекращение испарения	–

Таблица 4

IV. Внутреннее функционирование

Модель природного МПВ	IV-A –МПВ сформировано естественным путем и за счет эксплуатации водохозяйственных объектов			IV-B – имеются благоприятные естественные условия для формирования МПВ за счет целенаправленных мероприятий и в процессе эксплуатации		
	IV-A-1 – за счет транзита подземных вод по латерали и их накопления (концентрации)		IV-A-2 – за счет транзита подземных вод по вертикали и их накопления (концентрации)	IV-B-1 – за счет привлечения подземных вод		IV-B-2 – за счет привлечения поверхностных вод
Модель эксплуатируемого МПВ	IV-A – оптимизация перехвата транзита подземных вод и извлечения запасов			IV-B – реализация использования привлекаемых ресурсов подземных вод		
	IV-A-1 – обоснование схемы размещения водозаборных сооружений и дебита с учетом природоохранных ограничений	IV-A-2 – обоснование конструкции водозаборных сооружений	IV-A-3 – обоснование режима эксплуатации водозаборных сооружений с учетом природоохранных ограничений	IV-B-1 – обоснование схемы размещения водозаборных сооружений и их дебита с учетом природоохранных ограничений	IV-B-2 – обоснование конструкции водозаборных сооружений	IV-B-3 – обоснование режима эксплуатации водозаборных сооружений с учетом природоохранных ограничений

Таблица 5

V. Генезис месторождений подземных вод

Модель МПВ	V-A – естественные и искусственные запасы и ресурсы подземных вод						V-B – привлекаемые ресурсы подземных вод		
	V-A-1 Естественные запасы		V-A-2 Естественные ресурсы		V-A-3 Искусственные запасы и ресурсы		V-B-1 За счет подземных вод	V-B-2 За счет поверхностных вод	
Природного	Полные потенциальные возможности						Прогнозируемые		
	V-A-1-а Гравитационные	V-A-1-б Упругие	V-A-2-а Инфильтрационные	V-A-2-б Стоковые	V-A-3-а Постоянного питания	V-A-3-б Периодического питания	V-B-1-а Перетекание из смежных горизонтов	V-B-2-а Постоянное питание	V-B-2-б Периодическое питание
Эксплуатируемого	Обоснованная доля участия (α_i) в ЭЗПВ, исходя из:								
	– объема осушения водовмещающих пород; – коэффициента водоотдачи водовмещающих пород	– объема депрессии напора; – коэффициента упругой водоотдачи пород	– инфильтрационного питания; – площади воронки депрессии	– приведения к 90% обеспеченности; – доли использования (по аналогии)	– инфильтрационного питания; – качества инфильтрационных вод	– фильтрационных свойств раздельного слоя; – качества привлекаемых вод	– гидравлического сопротивления ложа реки; – качества привлекаемых вод		

Таблица 6

**Соотношение между стадиями геологоразведочных работ на подземные воды,
видами недропользования,
лицензируемыми по их результатам, категориями
прогнозных ресурсов
и эксплуатационных запасов
и стадиями проектно-изыскательных работ**

Стадия поисково-разведочных работ	Степень изученности прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод перед началом работ	Категории прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов, оцененных по результатам проведенных работ	Вид пользования недрами, лицензируемый по результатам проведенных работ	Стадия разработки предпроектных и проектных документов
Региональная оценка прогнозных ресурсов подземных вод	Прогнозные ресурсы не оценены или требуется их переоценка	P	Геологическое изучение недр	Гидрогеологическое обоснование схем комплексного использования и охраны водных ресурсов
Поисковые работы	Прогнозные ресурсы категории P	C ₂	Геологическое изучение (оценка месторождений) или добыча подземных вод, включая разведку месторождений	Схемы комплексного использования и охраны подземных вод
Оценка месторождений	Эксплуатационные запасы категории C ₂	C ₁	Добыча подземных вод, включая разведку месторождений	ТЭО инвестиций, в отдельных случаях – ТЭО строительства водозабора
Разведка месторождений	Эксплуатационные запасы категории C ₁	B	Добыча подземных вод	ТЭО и проект строительства водозабора
Эксплуатационная разведка	Эксплуатационные запасы категории B (B и C ₁)	A	Добыча подземных вод	Проект реконструкции и расширения водозабора

Учебное издание

Аликин Эдуард Александрович

Поиски и разведка подземных вод

Учебно-методическое пособие

Редактор *Л. Г. Подорова*

Корректор *Л. И. Иванова*

Компьютерная верстка: *В. Н. Казаков*

Подписано в печать 31.10.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,02. Тираж 50 экз. Заказ 199

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.
614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15