

Н.Н. Биндеман, Л.С. Язвин

**Оценка эксплуатационных
запасов подземных вод**

Методическое руководство

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
Н11

Н11 **Н.Н. Биндеман**
Оценка эксплуатационных запасов подземных вод: Методическое руководство
/ Н.Н. Биндеман, Л.С. Язвин – М.: Книга по Требованию, 2013. – 215 с.

ISBN 978-5-458-46545-8

ISBN 978-5-458-46545-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ И РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

За последние 15—20 лет опубликован ряд работ, посвященных классификации запасов и ресурсов подземных вод. обстоятельный обзор этих работ дан в статье Ф. М. Бочевера (1957) и книге Б. И. Куделина (1960).

Все указанные классификации отличаются в сущности лишь большей или меньшей полнотой и детализацией, но не содержат принципиальных противоречий в отношении понимания самого предмета классификации. Вместе с тем в них наблюдается чрезвычайная пестрота и несогласованность терминологии и определений понятий, что приводит к затруднениям в использовании классификаций как в научных работах, так и на практике.

Основной причиной этой несогласованности является прежде всего неправильная и произвольная трактовка понятий «запасы» и «ресурсы» подземных вод. Предельно четко различия этих понятий были сформулированы Ф. П. Саваренским: «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 конце сороковых годов термин «ресурсы» был незаслуженно отвергнут и заменен термином «динамические запасы», что и привело к стиранию различия понятий «ресурсы» и «запасы» в гидрогеологической литературе и путанице в терминологии. Термин «динамические запасы» является неудовлетворительным и должен быть отвергнут по следующим соображениям. Слово «запас» в русском языке означает запасенное, собранное для будущего использования. Так называемые «динамические запасы», выражающие питание подземных вод, не накоплены заранее и не являются вместе с тем «резервом», так как при эксплуатации подземных вод в первую очередь ориентируются на их использование, считая резервом запасы, накопленные в пласте, а не питание водоносного горизонта.

Запасы подземных вод и их возобновление питанием (ресурсы) с логической и физической точек зрения понятия принципиально

разные, что находит свое отчетливое выражение в размерности этих величин: запасы выражаются массой (приближенно — объемом) воды, а их возобновление — расходом воды.

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.

Подземная вода, пригодная для использования в народном хозяйстве, является полезным ископаемым. Рассматривая подземную воду с этой точки зрения, необходимо сформулировать то общее, что свойственно запасам твердых и жидких полезных ископаемых, и те различия, которые между ними имеются.

Общность понятия «запас» для твердых полезных ископаемых и воды заключается в следующем: объем (масса) гравитационной воды, как и масса твердого полезного ископаемого, выражает их запасы; объем водоносного пласта аналогичен объему породы, содержащей руду; коэффициент водоотдачи — содержанию руды в породе; состав подземных вод — составу руды.

Месторождение любого полезного ископаемого всегда так или иначе ограничено. Влияние внешней среды, проявляющееся на границах тела полезного ископаемого, принципиально разное для твердых полезных ископаемых и воды. В месторождениях твердых полезных ископаемых влияние окружающей среды на запасы полезного ископаемого проявляется крайне медленно, в «геологических» темпах (процессы выветривания, метаморфизм и т. п.) и при добыче полезного ископаемого влияние этих процессов может не учитываться. Наоборот, влияние окружающей среды на запасы подземных вод проявляется весьма быстро; оно передается водоносному горизонту через его границы и через них же, в свою очередь, водоносный горизонт влияет на окружающую среду. Характер граничных условий обуславливает степень возобновляемости запасов, а изменения этих условий во времени вызывают соответственные изменения величины запасов подземных вод.

Другое отличие запасов подземных вод от запасов твердых полезных ископаемых, также связанное с подвижностью воды, заключается в том, что запасы подземных вод, которые предполагается использовать, зависят от способности пород проводить

воду и передавать изменения напора. При прочих равных условиях из водоносного горизонта можно получить воды тем больше, чем больше водопроницаемость пласта, т. е. произведение коэффициента фильтрации на мощность. Пласты водоносного галечника и песка-пльвуна могут содержать равные объемы гравитационной воды, т. е. равные запасы, однако для получения того же количества воды из галечников потребуются значительно меньшее число скважин и меньшие понижения в них. Таким образом, гидродинамические свойства пласта имеют огромное значение при характеристике запасов, определяя технико-экономическую целесообразность их использования в народном хозяйстве.

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.

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 процента.

Естественные ресурсы водоносного горизонта — это его питание в естественных условиях. Питание следует рассматривать как алгебраическую сумму поступления воды (инфильтрация атмосферных осадков, фильтрация из рек, перетекание из выше и ниже расположенных горизонтов) и расходования ее (за счет испарения вод, оттока в выше и ниже расположенные горизонты). Естественные ресурсы находят свое выражение в расходе потока подземных вод.

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

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 и запасов подземных вод.

В отношении эксплуатационных запасов и ресурсов подземных вод, по сложившимся условиям, терминология отличается. Определение понятия эксплуатационных запасов регламентируется официальной инструкцией Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ).

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.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) подземных вод связаны с другими видами запасов и ресурсов следующим балансовым уравнением:

$$Q_z = Q_c + \frac{V_e}{t} + Q_n + \frac{V_n}{t} + Q_p, \quad (I, 1)$$

где Q_z — эксплуатационные запасы (ресурсы); Q_c — естественные ресурсы; V_e — естественные запасы; Q_n — искусственные ресурсы; V_n — искусственные запасы; Q_p — привлекаемые ресурсы; t — время эксплуатации.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) по возможному сроку их использования могут быть обеспеченными на неограниченное время и обеспеченными только на определенный срок эксплуатации, принимаемый обычно равным сроку амортизации водозабора (25—30 лет), а при оценке прогнозных ресурсов в региональном плане — порядка 50—100 лет.

Относительное значение компонентов балансового уравнения изменяется в зависимости от времени эксплуатации подземных вод и сопутствующих технических мероприятий.

Естественные ресурсы (Q_e) и естественные запасы (V_e) независимы от деятельности человека, при этом с течением времени значение использования естественных запасов уменьшается и при $t \rightarrow \infty$ второй член уравнения (I,1) обращается в нуль.

Искусственные ресурсы и запасы управляются инженерной деятельностью человека, поэтому они могут изменяться в процессе эксплуатации.

При периодическом заводнении поверхностным стоком емкостей, сформированных откачкой («подземные водохранилища»), значение искусственных запасов (V_n) в водном балансе может оказаться весьма существенным независимо от длительности периода эксплуатации, так как время расходования этих запасов незначительно (обычно менее года), после чего они восстанавливаются. —

Привлекаемые ресурсы (Q_n) в процессе эксплуатации водозабора увеличиваются в связи с ростом депрессии, создаваемой откачкой и вызывающим усиление питания подземных вод из поверхностных вод и из атмосферы. Если величина привлекаемых ресурсов с течением времени становится близкой к расходу водозабора (Q_z), то движение подземных вод практически стабилизируется и водозабор оказывается обеспеченным ресурсами на неограниченный срок эксплуатации. Примерами таких условий могут служить водозаборы, заложенные вблизи рек, а также водозаборы, в зоне влияния которых при понижении уровня грунтовых вод испарение с их поверхности уменьшается на величину, близкую к дебиту водозабора.

Естественные запасы и ресурсы, искусственные запасы и ресурсы и запасы, привлекаемые в процессе эксплуатации водозаборного сооружения, являются элементами приходной части водного баланса, определение которых имеет важное значение при региональной оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод. Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод на отдельных участках водоносного горизонта определять эти элементы водного баланса в большинстве случаев нет необходимости, так как при расчетах эксплуатационных запасов современными гидродинамическими методами эти элементы учитываются совокупно.

Глава II

НАЧАЛЬНЫЕ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

Оценка эксплуатационных запасов на том или ином участке распространения водоносного горизонта заключается в определении величины допустимого понижения уровня воды в скважинах, при котором обеспечивается извлечение ее на поверхность с требуемым дебитом и качеством неограниченно долгое время или в течение определенного срока. Если это условие в процессе эксплуатации соблюдается, т. е. уровень воды в скважинах не понижается до подошвы водоносного пласта и не превышает глубины, при которой воду можно извлекать на поверхность насосами, то эксплуатационные запасы являются обеспеченными.

Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод необходимо знать распределение напоров в пласте или системе пластов, если они взаимосвязаны (начальное условие), и закон взаимодействия между окружающей средой и водоносными горизонтами (граничные условия).

За начальное условие принимается распределение напоров в водоносном пласте и на его границах к моменту начала эксплуатации. При расчетах эксплуатационных запасов подземных вод обычно принимается, что движение подземных вод непосредственно перед эксплуатацией водозабора было установившимся. Такое допущение в большинстве случаев не приводит к существенным для практики ошибкам, поскольку изменения напоров подземных вод при эксплуатации значительно больше, чем в естественных условиях, потому естественными колебаниями уровня можно пренебрегать. Лишь в тех гидрогеологических условиях, которые характеризуются значительными амплитудами колебаний уровня подземных вод (приречные зоны, карстовые районы, конусы выноса), учет естественного режима подземных вод обязателен. В качестве исходных данных при оценке запасов в этих случаях следует принимать положение низких (меженных) уровней воды.

Граничные условия определяют основные наиболее принципиальные закономерности режима подземных вод. В естественных условиях изменения во времени, происходящие на границах пласта (изменение инфильтрации атмосферных осадков, уровней воды в реках), обуславливают режим подземных вод, который является как бы отражением изменяющихся условий на границах.

При эксплуатации подземных вод внутри пласта возникает новое граничное условие, выражающееся расходом воды (водозаборы с заданным дебитом) или понижением (водозаборы с заданным динамическим уровнем). Дать прогноз изменения во времени понижения уровня воды в скважинах (если задан дебит водозабора) или изменения дебита (если заданы динамические уровни) можно только тогда, когда известны граничные условия водоносного пласта. Так, если водоносный пласт примыкает

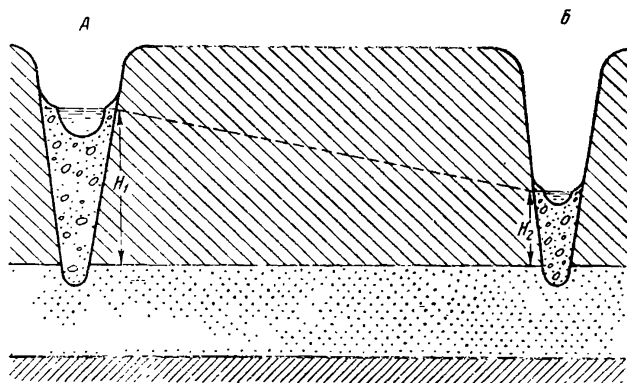


Рис. 1.

к реке, то при эксплуатации подземных вод через некоторое время происходит стабилизация понижений уровней воды в скважинах водозабора. Если, наоборот, водоносный пласт оконтурен в плане выходами водоупорных пород, то движение подземных вод к водозабору имеет резко выраженный неустановившийся характер и через некоторое время после начала эксплуатации может произойти истощение водоносного горизонта.

Значение учета граничных условий при оценке эксплуатационных запасов подземных вод можно иллюстрировать следующим примером.

Допустим, что имеются два междуречья, тождественные по геологическим условиям (рис. 1 и 2). Долины рек вскрывают напорный водоносный горизонт, перекрытый в пределах междуречья водоупорным пластом. Различие сравниваемых участков заключается лишь в том, что на одном из них (см. рис. 1) уровни воды в ограничивающих реках А и Б разные (H_1 и H_2), причем $H_2 < H_1$, на другом участке (см. рис. 2) — одинаковые (H_1).

Рассматривая эксплуатационные запасы как сумму естественных запасов и естественных ресурсов подземных вод, выражаемых расходом естественного потока, и пренебрегая граничными

условиями, можно прийти к выводу, что на участке *I* эксплуатационные запасы больше, чем на участке *II*, так как при равенстве естественных запасов на сравниваемых участках на участке *I* имеет место расход потока, а на участке *II* он отсутствует в силу равенства отметок уровней воды в ограничивающих реках *A* и *Б*. Заключение о больших эксплуатационных запасах подземных вод участка *I* по сравнению с участком *II*, основанное на этих соображениях, было бы, конечно, ошибочным. В самом деле, на уча-

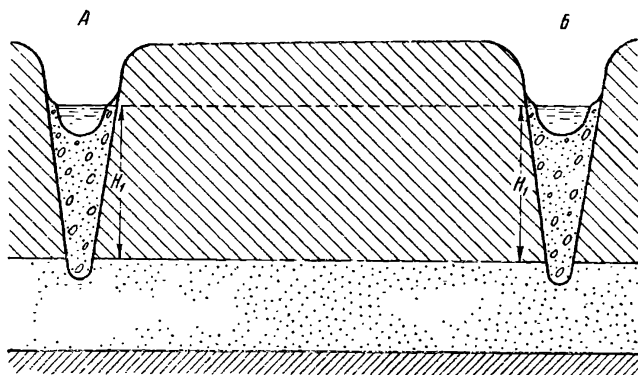


Рис. 2.

стке *II* эксплуатационные запасы значительнее, так как напор над кровлей водоносного горизонта больше, что позволяет эксплуатировать скважины водозабора с большими понижениями уровня воды, а следовательно, и с большими дебитами.

Итак, суждение об эксплуатационных запасах подземных вод по расходу естественного потока может приводить не только к неточному, но в некоторых случаях и к принципиально неверному выводу об эксплуатационных запасах подземных вод.

Расход подземного потока, выражающий естественные ресурсы подземных вод, может рассматриваться лишь как нижний предел величины эксплуатационных запасов, поскольку при этом не учитываются остальные члены правой части балансового уравнения (I, 1).

Если обратиться к граничным условиям сравниваемых участков, то станет совершенно очевидным, что эксплуатационные запасы на участке *II* (рис. 2) больше, чем на *I* (см. рис. 1), так как на границе пласта (в долине *Б*) горизонт воды выше.

Главнейшие типы граничных условий водоносных пластов описаны в работе Ф. М. Бочерева (1958). Типизация их нами несколько дополнена и расширена.

Следует различать границы в вертикальном разрезе водоносного пласта (верхние и нижние границы пласта) и в плане (контуры пласта).

Границы водоносного пласта имеют сложное очертание и для приведения задачи оценки эксплуатационных запасов к расчетному виду всегда приходится прибегать к той или иной схематизации формы границ. Естественно, чем ближе расчетная схема к природным условиям, т. е. чем меньше будет допущено искажений при схематизации, тем прогнозы точнее.

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ ПЛАСТА

Подземные воды, как известно, подразделяются на напорные и безнапорные.

Отличие напорных и безнапорных вод обуславливается разными граничными условиями на верхней поверхности водоносного горизонта. В безнапорных водах эта поверхность свободная, а в напорных она определяется положением подошвы кроющего водоупорного пласта.

Принципиальное отличие указанных граничных условий заключается в том, что при эксплуатации водозабора в безнапорных водах обязательно происходит то или иное осушение пласта, т. е. мощность водоносного горизонта уменьшается, в то время как в условиях напорных вод мощность остается неизменной, если уровень воды при откачке не понижается ниже кровли. Переход от более простых формул напорных вод к несколько более сложным формулам безнапорных вод очень прост и заключается в том, что при применении формул напорных вод в условиях безнапорных вод необходимо величину мощности водоносного пласта заменить средней мощностью (h_{cp}), равной полусумме мощностей пласта до откачки (H) и при откачке (h_0). Учитывая, что $H - h_0 = S$, где S — понижение уровня воды при откачке,

$$h_{cp} = \frac{H + h_0}{2} = \frac{H + (H - S)}{2} = H - \frac{S}{2}. \quad (\text{II}, 1)$$

Таким образом, средняя мощность водоносного пласта меньше первоначальной (существовавшей до откачки) на половину понижения уровня воды при откачке.

Такая замена, как доказывается в теории, является вполне строгой в условиях установившегося движения и практически допустима также для решения задач неустойчивого движения.

На верхней границе водоносного пласта со свободной поверхностью подземных вод могут быть следующие условия:

1) питание инфильтрацией атмосферных осадков (рис. 3, участок I); 2) отсутствие питания и испарения (участок II); 3) испарение с поверхности подземных вод (участок III).

Первый тип граничных условий является наиболее распространенным, третий свойствен в основном аридной зоне. Отсутствие питания и испарения имеет место в тех случаях, когда подзем-

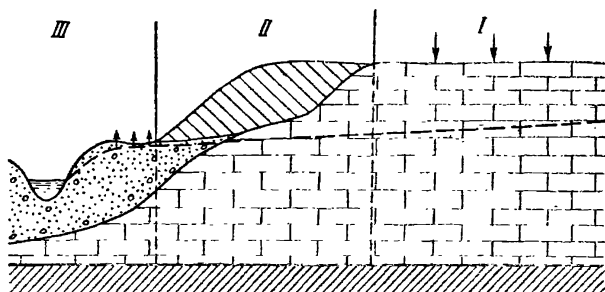


Рис. 3. Схема условий на верхней границе водоносного пласта. Пунктиром показан уровень грунтовых вод с различными граничными условиями (I, II, III)

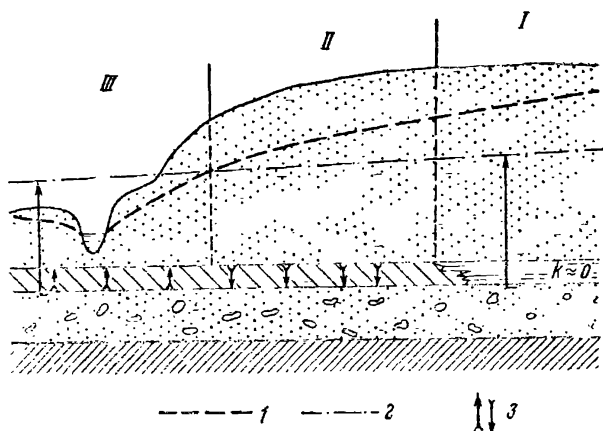


Рис. 4. Схема условий на нижней границе водоносного пласта.

1 — уровень грунтовых вод; 2 — пьезометрический уровень артезианских вод; 3 — направление перетекания подземных вод через слабопроницаемый слой

ные воды залегают относительно глубоко, а выше лежит слой непроницаемых пород (так называемые межпластовые безнапорные воды).

На нижней границе (подошве) водоносного пласта (рис. 4) могут быть следующие условия: 1) подстилающий пласт практически непроницаем (водоупор, участок I); 2) подстилающий пласт