

**• БАЛАНСОВАЯ СТРУКТУРА
(ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ)
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Упражнения

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЗАПАСЫ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ

ПРИВЛЕКАЕМЫЕ РЕСУРСЫ

Комментарии

Упражнения

БАЛАНСОВАЯ СТРУКТУРА (ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ) ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Ни одно из вышеперечисленных прогнозных положений не может быть достоверно обосновано без количественной характеристики структуры баланса эксплуатационного водоотбора. Это один из важнейших смысловых вопросов при оценке ЭЗ; необходимость его изучения специально оговаривается в нормативно-методических документах.

Для чего ?

- Правильное *балансовое* понимание гидрогеологических условий, поведения потоков при эксплуатации водозаборов позволяет избежать логических, формальных ошибок при выборе расчётных формул, схем, при построении прогнозных моделей.
- Разведочные работы должны быть преимущественно ориентированы на изучение тех параметров и процессов, которые имеют основное *балансовое* значение на конкретном месторождении.
- Для прогноза качества подземных вод нужны долевые составляющие *баланса* притока к водозаборным скважинам.
- То же самое необходимо и для оценки экологических последствий водоотбора.

Проблема оценки балансовых составляющих всегда непростая, так как чаще всего невозможны прямые полевые измерения; необходимо очень ясное понимание общей гидрогеологической ситуации и балансово-гидрогеодинамических механизмов, действующих при естественном и нарушенном режиме фильтрации.



ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

ДО НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРА: среднегодовой баланс водоносного горизонта (с осреднёнными сезонными колебаниями уровня, то есть – с некоторым условно постоянным объёмом воды в пласте): *объём притока за счёт всех видов питания равен объёму оттока за счёт всех видов разгрузки:*

$$Q_{п}t = Q_{р}t.$$

Расчётный промежуток времени t в принципе может быть любым, однако для балансовых расчётов при естественном режиме фильтрации обычно используют годовой интервал, начиная с момента окончания основной межени.

ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ: водоотбор – новая *расходная* статья баланса (искусственная разгрузка). Поэтому после включения водозабора начинает формироваться (в полном соответствии с законами систем материального мира) новое равновесное балансовое состояние, то есть происходят количественные изменения естественных балансовых

процессов, стремящиеся компенсировать возникший за счёт водоотбора дисбаланс. В совокупности эти изменения таковы:

- **уменьшается (всегда!)** первоначальный объём воды в пласте на величину ΔV_3 , так как обязательно (по законам гидрогеодинамики скважин) должна образоваться депрессионная воронка;
- **может увеличиться суммарный расход питания** до величины $(Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{п}})$;
- **может уменьшиться суммарный расход разгрузки** до величины $(Q_{\text{р}} - \Delta Q_{\text{р}})$.

Почему питание увеличивается, а разгрузка уменьшается ?

– если естественное питание имеет «потенциальный» характер, то есть происходит под действием разности напоров на питающей границе (перетекание из смежного горизонта, приток из рек), то при эксплуатационном понижении уровней разность напоров может только увеличиваться; соответственно возрастает и расход питания.

– если питание имеет инфильтрационный характер, то при понижении свободной поверхности результирующее питание тоже возрастает (до некоторого предела).

– если естественная разгрузка происходит с некоторой разностью напоров на дренирующей границе (разгрузка в русла рек и водоёмов, восходящими родниками...), то при эксплуатационном понижении напоров эта разность уменьшается – следовательно, уменьшается и расход разгрузки.

– если разгрузка происходит путём испарения (эвапотранспирации), то при эксплуатационном понижении свободной поверхности величина испарения всегда уменьшается.

Терминологическое примечание: процесс уменьшения естественной разгрузки при эксплуатации называется **инверсией** (от лат. *inversio* – переворачивание). Инверсия может быть *частичной* или *полной*.

Итак, уравнение баланса водоносного горизонта при работе водозабора приобретает такой принципиальный вид:

$$\Delta V_3 + (Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{п}})t_3 = (Q_{\text{р}} - \Delta Q_{\text{р}})t_3 + Q_3 t_3$$

или, учитывая, что $Q_{\text{п}} = Q_{\text{р}}$:

$$Q_3 = \frac{\Delta V_3}{t_3} + \Delta Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{п}}. \quad (1.1)$$

Это *основное* уравнение баланса эксплуатационного водоотбора за расчётный период эксплуатации водозабора t_3 . Его физический смысл: возникающее в естественной сбалансированной системе отрицательное (по балансовому знаку) изменение в виде



водоотбора Q_3 погашается положительными изменениями ΔV_3 , ΔQ_p , $\Delta Q_{п}$. Эти положительные изменения называются **ИСТОЧНИКАМИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЗ** и составляют **БАЛАНСОВУЮ СТРУКТУРУ** эксплуатационного водоотбора.

Формула (1.1) отражает общие, потенциальные возможности формирования баланса потока при работе водозаборов. В реальных условиях балансовые связи имеют сложный, обычно нелинейный характер и претерпевают существенные изменения в течение всего периода эксплуатации – как сезонные внутригодовые, так и устойчивые, однозначно направленные по мере пространственного развития депрессионной воронки.

Рассмотрим несколько простых балансовых упражнений, представляя водоносный горизонт в виде сосуда.

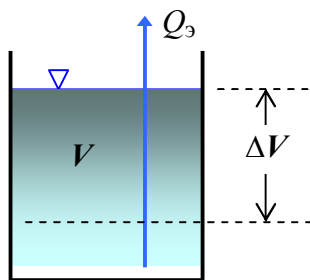


Рис. 1.5

I. Водоносный горизонт обладает только ёмкостью V ; питания, стока и разгрузки нет (рис. 1.5)

- Режим при водоотборе будет постоянно нестационарным
- Водоотбор с производительностью Q_3 возможен только в

течение некоторого времени $t = \frac{\Delta V}{Q_3}$

- В реальных условиях доступная для отбора величина ΔV во многом зависит от допустимых понижений, схемы и конструкции водозаборного сооружения

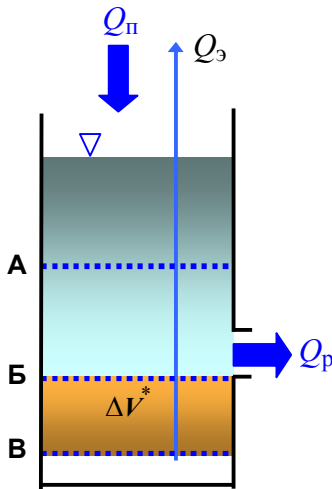


Рис. 1.6

II. Расход питания Q_{Π} не зависит от положения уровня в водоносном горизонте (рис. 1.6).

А расход разгрузки Q_{ρ} ? Конечно, зависит.

– В ненарушенном стационарном состоянии $Q_{\rho} = Q_{\Pi}$.

Варианты соотношения дебита водоотбора и расхода питания:

А) $Q_{\rho} < Q_{\Pi}$ (и, следовательно, $< Q_{\rho}$)

– Какие произойдут балансовые изменения? В пределе расход разгрузки уменьшится на величину ΔQ_{ρ} (частичная инверсия разгрузки).

– Следовательно, общий вид балансового уравнения после наступления стационарного режима: $Q_{\Pi} = Q_{\rho} + (Q_{\rho} - \Delta Q_{\rho})$, то есть $Q_{\rho} = \Delta Q_{\rho}$.

– Какой режим уровней при водоотборе? В пределе – стационарный, когда частичная инверсия разгрузки полностью компенсирует водоотбор.

– Где будет располагаться уровень? Выше уровня разгрузки (положение **А**), так как разгрузка частично ещё сохраняется.

Б) $Q_{\rho} = Q_{\Pi}$ – всё так же, как в предыдущем случае: принципиальный вид балансового уравнения сохраняется ($Q_{\rho} = \Delta Q_{\rho}$), но разгрузка инверсируется полностью, то есть $\Delta Q_{\rho} = Q_{\rho}$.

– В пределе наступит стационарный режим, но уровень будет располагаться на уровне разгрузки (положение **Б**).

В) В случае превышения водоотбора над расходом питания ($Q_{\rho} > Q_{\Pi}$) режим уровней будет нестационарным и после полной инверсии разгрузки. В балансовом уравнении

появится ёмкостная составляющая: $Q_{\rho} = \Delta Q_{\rho} + \frac{\Delta V^*}{t^*}$ (здесь ΔV^* – объём воды, который

можно сработать после инверсии в пределах допустимого понижения, а t^* обозначает время, в течение которого можно эксплуатировать водозабор с дебитом Q_{ρ} после полной инверсии разгрузки).



III. Расход питания Q_{Π} зависит от положения уровня в водоносном горизонте.

Реализуем такой механизм добавлением ещё одного сосуда с более высоким положением уровня (аналог смежного водоносного горизонта). Питание происходит за счёт разности уровней – в ненарушенных условиях она составляет ΔH_e при соответствующей величине питания Q_{Π} (рис. 1.7). Если других механизмов питания нет, то $Q_p = Q_{\Pi}$.

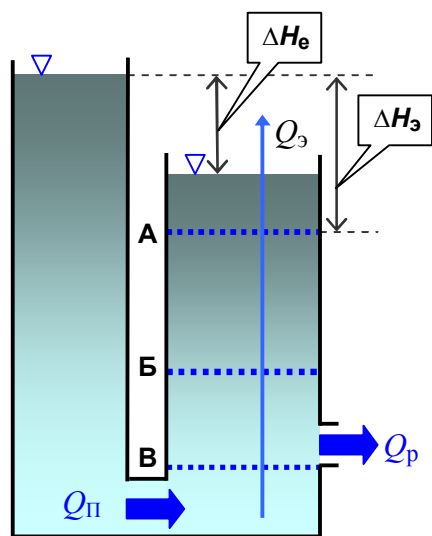


Рис. 1.7

Варианты соотношения водоотбора и расхода питания:

A) $Q_3 < Q_{\Pi}$

– Какие произойдут балансовые изменения?

Уменьшится расход разгрузки на величину ΔQ_p (частичная инверсия разгрузки) и, кроме того, увеличится интенсивность питания на величину ΔQ_{Π} , так как возросла величина разности уровней ΔH_3 по сравнению с ΔH_e .

– Общий вид балансового уравнения:

$$Q_{\Pi} + \Delta Q_{\Pi} = Q_3 + (Q_p - \Delta Q_p) \quad \text{или} \quad Q_3 = \Delta Q_p + \Delta Q_{\Pi}.$$

– Какой режим уровней при водоотборе? В пределе стационарный.

– Где будет располагаться уровень? Выше уровня разгрузки (положение **A**, но при этом выше, чем в варианте **II**).

Б) $Q_3 = Q_{\Pi}$

– Принципиальный вид балансового уравнения сохраняется: $Q_3 = \Delta Q_p + \Delta Q_{\Pi}$.

– Стационарный режим, но уровень всё ещё будет располагаться выше уровня разгрузки (положение **Б**), так как разгрузка не инверсируется полностью за счёт существования всё возрастающей добавки ΔQ_{Π} .

В) Наконец, даже в случае превышения величины водоотбора над начальным расходом питания ($Q_3 > Q_{\Pi}$) возможно стационарное состояние режима уровней (до некоторого критического значения Q_3). Вид балансового уравнения прежний: $Q_3 = \Delta Q_p + \Delta Q_{\Pi}$.



Наверняка у внимательного читателя уже возник принципиальнейший балансовый вопрос: а почему же в схеме III уровень в смежном сосуде-«горизонте» остаётся постоянным? Действительно, картинка на рис. 1.7 не содержит информации о механизме собственного питания второй ёмкости.

Какие варианты здесь возможны ?

– Если питания второй ёмкости нет, то невозможно и существование расхода питания первой ёмкости $Q_{\text{п}}$. В естественных условиях не могла бы существовать разность уровней ΔH_e , а при водоотборе уровни в обоих сосудах вели бы себя одинаково.

– А если есть естественное питание второй ёмкости, то каков его механизм? Как оно себя поведёт при снижении уровней в этой связанной системе? Возможно, придётся рассматривать 3-й, ..., n -й сосуды-«горизонты».

Теоретически возникает бесконечная цепочка балансовой реакции на эксплуатационный водоотбор. Практически же где-то может подключиться такая питающая граница (или их совокупность), которая обеспечит на период эксплуатации необходимое приращение питания *без изменения собственного уровня* (точнее, при пренебрежимо малом его изменении) – обычно это большие реки, крупные водоёмы и т.п.

Итак, в реальных природных водоносных системах стационарный режим фильтрации при работе водозабора может установиться только в том случае, если гидродинамическое влияние водозабора достигает *питающих* и/или *дренирующих* границ, на которых в связи с понижением уровней произойдет *изменение* естественных величин питания и/или разгрузки, равное величине водоотбора, и балансовое уравнение примет вид:

$$Q_{\text{э}} = \Delta Q_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{р}} = \Delta Q_{\text{г}},$$

где $\Delta Q_{\text{г}} = Q_{\text{г}}^{\text{э}} - Q_{\text{г}}^{\text{е}}$ – суммарное изменение расходов через границы, $Q_{\text{г}}^{\text{е}}, Q_{\text{г}}^{\text{э}}$ – трансграничные расходы в естественных условиях и при эксплуатации соответственно.

Практическое замечание: при работе с балансовыми зависимостями надо учитывать знаки расходов по отношению к эксплуатируемому пласту: положительный – для расходов через питающие границы (приток в пласт), отрицательный – для дренирующих границ (отток из пласта). Чтобы не ошибаться и вообще не думать о знаке трансграничного расхода, достаточно в гидрогеодинамических описаниях этих расходов всегда *ставить на первое место уровень на границе $H_{\text{г}}$* :

$$Q_{\text{г}}^{\text{е}} = \frac{H_{\text{г}} - H_{\text{е}}}{\Phi},$$
$$Q_{\text{г}}^{\text{э}} = \frac{H_{\text{г}} - H_{\text{э}}}{\Phi}.$$

В этих формулах $H_{\text{е}}, H_{\text{э}}$ – уровни подземных вод в приграничной области потока в естественных условиях (е) и при эксплуатации (э); Φ – некоторое



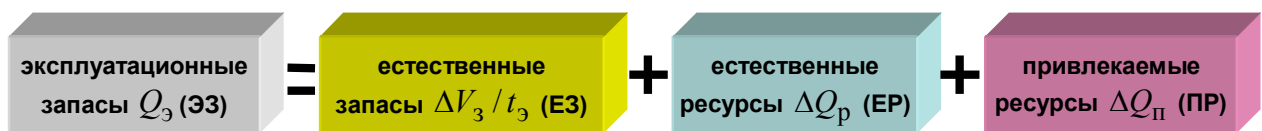
фильтрационное сопротивление границы, через которую происходит водообмен пласта со смежными элементами гидросферы.

Несложно убедиться, что независимо от характера границы (питающая или дренирующая) изменение расхода через неё всегда будет положительным:

$$\Delta Q_{\Gamma} = \frac{H_e - H_{\text{э}}}{\Phi} > 0,$$

поскольку естественный уровень H_e всегда больше пониженного эксплуатационного $H_{\text{э}}$.

Вернёмся к общему балансовому уравнению водоотбора и введём генетические названия:



ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЗАПАСЫ ЕЗ – статическое (мгновенное) количество гравитационной воды в пласте (в принципе – масса, но для пресных вод можно оперировать объёмом). Величина использованной водозабором части естественных запасов $\Delta V_{\text{э}}$ зависит от пространственных размеров образовавшейся депрессионной воронки и ёмкостных параметров водовмещающей толщи (водоотдача). В зависимости от природы водоотдачи различают *ёмкостные* и *упругие* естественные запасы. Физическая размерность – объём (L^3), но в структурном уравнении баланса следует выражать их средним расходом, «размазывая» объём $\Delta V_{\text{э}}$ на время водоотбора $t_{\text{э}}$.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ ЕР – суммарная величина питания водоносного горизонта в естественных условиях (следовательно, и суммарная величина естественной разгрузки). Физическая размерность – расход (L^3T^{-1}). Важно подчеркнуть, что в уравнение баланса эксплуатационного водоотбора входит не общая величина естественных ресурсов, формирующаяся в пределах области влияния водозабора (и/или приходящая в эту область), а только изменение (Δ) расхода разгрузки, то есть та часть общей величины естественных ресурсов водоносного горизонта, которая «перехвачена» водозабором за счёт депрессии напоров в очагах разгрузки естественного потока (замена части естественной разгрузки на искусственную, техногенную).

ПРИВЛЕКАЕМЫЕ РЕСУРСЫ ПР – специфическая балансовая категория, проявляющаяся только при работе водозабора. Это – суммарный расход *дополнительного* (Δ) питания эксплуатируемого горизонта, возникающего за счёт понижения уровней (дополнительного



к чему? – к естественной интенсивности питания). Физическая размерность – расход (L^3T^{-1}).

Две возможности возникновения привлекаемых ресурсов:

– в областях **естественного питания**: оно может усиливаться при эксплуатационном понижении уровней в основном горизонте – например, усиление перетекания из смежного горизонта, увеличение интенсивности инфильтрации при возрастании глубины залегания свободной поверхности. Разность между величиной питания горизонта в естественных условиях и при эксплуатации и есть Привлекаемые Ресурсы;

– в областях **естественной разгрузки**: вначале развивается инверсия (то есть в баланс водоотбора частично вовлекаются ЕР), а после полной инверсии разгрузки на дренирующей границе возникает обратное соотношение напоров и поток обратного направления, которого не было в естественных условиях; его полный расход и есть Привлекаемые Ресурсы.

Вопрос о доле *соотношении* возможных источников формирования ЭЗ (от 0 до 100%) в каждом случае очень сложный. Для самых простых расчётных схем могут быть применены аналитические решения, для сложных (точнее, реальных) следует использовать моделирование потока в области влияния водозабора.

Принципиально важно: значимость каждой компоненты в уравнении 1.1 (а для ресурсных составляющих $\Delta Q_{\text{п}}$ и $\Delta Q_{\text{р}}$ – и само их существование) определяется конкретной гидрогеодинамической ситуацией, то есть зависит от параметров водоносной системы, граничных условий, времени, схемы и расположения водозабора и др.

Особо следует подчеркнуть, что **БАЛАНСОВАЯ СТРУКТУРА ВОДООТБОРА СПОСОБНА К СУЩЕСТВЕННОМУ ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ВО ВРЕМЕНИ**, а возможная направленность этих преобразований во многом зависит от положения водозабора по отношению к действующим балансово-гидрогеодинамическим границам эксплуатируемого пласта. Характерная иллюстрация (рис. 1.8): если водозабор расположить близко к реке (водоёму), то уже достаточно быстро, при небольших ещё понижениях возникает сначала $\Delta Q_{\text{р}}$ (инверсия расхода $Q_{\text{ЕР}}$), а затем и $\Delta Q_{\text{п}}$ (приток из реки $Q_{\text{пр}}$). Поэтому может быстро установиться стационарный режим фильтрации. Если же водозабор отнесён далеко от дренирующей границы, то воронка достигнет её через весьма значительное время (или вообще не «успеет» это сделать за расчётный срок), либо в принципе не сможет её достичь в пределах допустимых понижений в водозаборе. Величина



естественного потока Q_{EP} в этом случае не имеет никакого значения для формирования баланса водоотбора; основным источником формирования ЭЗ будут являться только естественные запасы пласта. Величины понижений и темп развития воронки будут такими же, как и в условиях бассейна подземных вод (отсутствие потока); соответственно будет сохраняться постоянный нестационарный режим уровней.

В этой связи вспомним о требовании «геологической обоснованности» водозаборного сооружения. В немалой степени она определяется рациональным в балансово-гидрогеодинамическом смысле расположением водозабора, который выгоднее приближать к границам дренирования (чтобы при минимальных понижениях произвести инверсию естественной разгрузки) и к таким питающим границам, на которых возможно увеличение естественного питания. Но надо понимать, что это желание гидрогеолога может вступить в конфликт с технико-экономическими соображениями (излишняя удалённость от водопотребителя) и многочисленными другими ограничениями для выбора участка водозабора (условия строительства, землеотвод и т.п.).

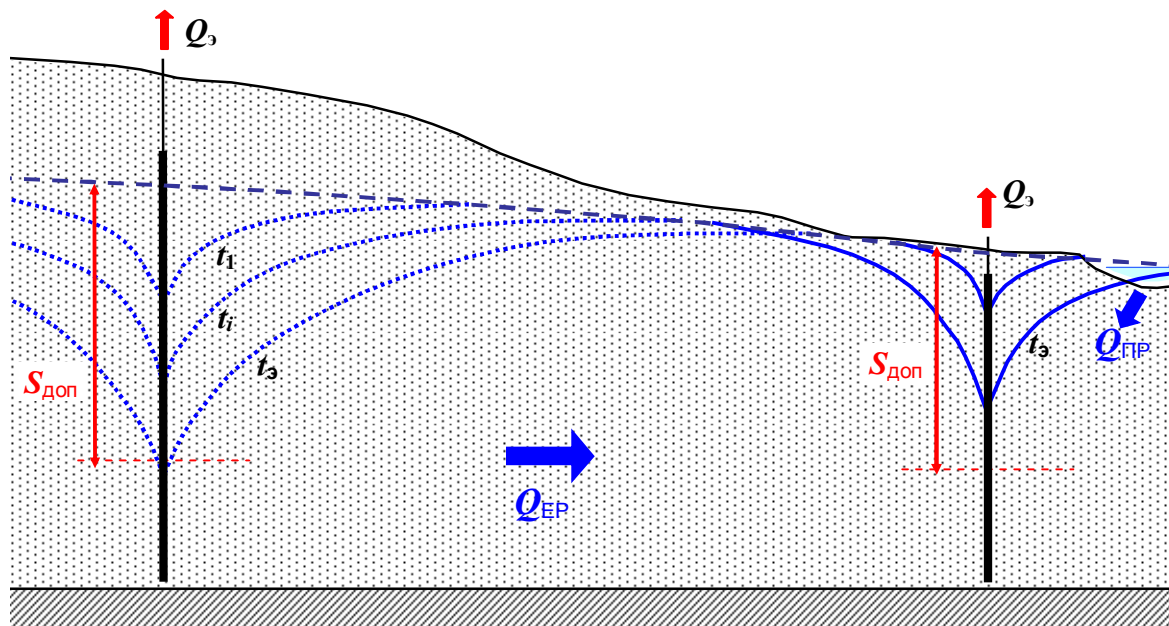


Рис. 1.8. Характер развития депрессионных воронок при расположении водозабора на удалении и вблизи реки

Несколько важных и полезных уточнений.

1. Тезис о том, что наличие или отсутствие естественного потока не влияет на понижение уровня в скважине (до тех пор, пока депрессия не распространится на область разгрузки потока), нередко встречает непонимание и даже неприятие (хотя теоретически это показано ещё в начале XX века отцом современной аэрогидродинамики Н.Е.Жуковским). Нужно ясно представлять, что речь идёт только о гидрогеодинамической стороне вопроса. Физически скважина, конечно же, будет извлекать воду потока со всеми её свойствами – «другой» воды в пласте просто нет.

2. Балансовое уравнение (1.1) интегрально характеризует всю область влияния водозабора. Физическое поступление привлекаемых составляющих ($\Delta Q_{\text{п}}$) в водозахватные устройства происходит значительно позднее, чем проявление гидрогеодинамического влияния соответствующих балансообразующих границ, и требует специального расчёта необходимого для этого времени.

3. В конкретных условиях уравнение (1.1) может быть дополнено составляющими искусственного происхождения – в форме запасов (ИЗ) или ресурсов (ИР). Эта тема позже будет рассмотрена более подробно.

4. Терминология в области наименования количеств подземных вод в естественных условиях и при эксплуатации до сих пор не устоялась окончательно, хотя дискуссия по этому вопросу в научной литературе ведётся уже более полувека. Во многом это объясняется уникальной для полезного ископаемого способностью подземных вод к возобновлению в масштабе реального времени, а также динамичностью баланса водоносных горизонтов как в естественных условиях, так и – тем более – при интенсивной длительной эксплуатации.

Важнейший уровень классифицирования количеств подземных вод – разделение понятий «запасы» (объём свободной воды, одновременно содержащийся в расчётном элементе водоносного пласта) и «ресурсы» (интенсивность питания через все границы этого элемента). Однако, при вполне ясном, казалось бы, различии этих понятий нередко приходится встречаться с неаккуратным и даже небрежным использованием терминов, что приводит к разночтениям и сложностям в общении специалистов. Это вызывает предложение ряда исследователей ограничиться каким-то одним термином (скорее, всего – «запасы», что традиционно для всех других полезных ископаемых), дополняя его необходимыми определениями – например, «статические запасы», «динамические запасы» и т.п.

Другой существенный аспект классифицирования количеств подземных вод – по природе их формирования. Принципиально здесь следует разделить «естественные» и «искусственные» запасы/ресурсы. Последние образуются либо за счёт специально предпринимаемых мероприятий, либо как побочное следствие хозяйственной и инженерной деятельности человека (разнообразные фильтрационные потери – из водонесущих коммунальных и промышленных сетей, на орошаемых территориях, в зоне подпора крупных водохранилищ и т.д.). Для густонаселённых, интенсивно освоенных промышленно-хозяйственных регионов многие исследователи предпочитают использовать общее понятие – например, «антропогенно-естественные», «сложившиеся» и т.п., оставляя определение «искусственные» только за теми количествами воды, которые специально подаются на пополнение эксплуатационных запасов подземных вод в зоне действующих водозаборов.

Особое значение – и в первую очередь, для практики поисково-разведочных работ – имеет классифицирование источников формирования эксплуатационных запасов. Дискуссионных предложений по этому поводу немало. Выше в этом



разделе и далее использованы классификационные представления и терминология Н.Н. Биндемана (1963, 1970), наиболее устойчиво сохраняющиеся в разведочной практике последних десятилетий.

Для уточнения понимания балансовой структуры ЭЗ ещё раз напомним, что при оценке источников формирования ЭЗ «точкой отсчёта» служит балансово-гидрогеодинамическое состояние водоносной системы к моменту начала эксплуатации. Балансовую структуру водоотбора формируют только изменения, происходящие в результате эксплуатационного понижения уровней. Логично поэтому разделить источники формирования ЭЗ по их отношению к фоновому балансу водоносной системы:

- «**существующие**»: к ним относятся естественные запасы и ресурсы, формирующиеся независимо от работы водозабора, за счёт естественных и сложившихся антропогенных источников питания;
- «**привлекаемые**»: сюда входит производительность всех дополнительно возникших механизмов питания эксплуатируемого водоносного горизонта вследствие понижения его уровней при эксплуатации;
- «**создаваемые**»: в эту группу попадут все техногенные механизмы дополнительного питания, искусственно созданные после начала эксплуатации.

Наконец, заметим, что сам термин «эксплуатационные запасы» (по определению это – производительность водозабора) противоречит основной концепции разделения количеств подземных вод на запасы и ресурсы. Обычно это оправдывают исторической практикой и формальным удобством государственного учёта количеств полезных ископаемых. В разные времена в оборот вводились понятия «перспективные... потенциальные... прогнозные ресурсы», «ресурсный потенциал», причём очевидно, что термин «ресурсы» здесь употребляется совсем не в «гидрогеологическом» смысле.

К сожалению, можно предполагать, что терминологическая небрежность и путаница (а зачастую – и произвол) будут сохраняться ещё долго, создавая предпосылки для существования «гидрогеологической шизофрении». Свежий пример: с 2007 г. вместо термина «эксплуатационные запасы» официально (министерским приказом) предписано применять термин «запасы». Понятно, что это формально правильно и удобно для существующей системы учёта количеств полезных ископаемых, к которым относятся и подземные воды. Но как быть со сложившейся, уже вековой научной терминологией? Теперь абсурдной будет выглядеть фраза из учебника: «*Запасы* месторождения подземных вод складываются (обеспечиваются, формируются ...) из *запасов* и ресурсов подземных вод», в которой первое употребление слова «запасы» имеет учётный смысл и означает возможное для водоотбора количество подземных вод, а второе традиционно (со времён академика Ф.П.Саваренского) используется поколениями гидрогеологов для обозначения ёмкости водоносных систем.



В завершение этого сложного раздела, абсолютно необходимого для рационального, а не формального понимания природы балансовых процессов при эксплуатации водоносных систем, рассмотрим несколько полезных упражнений (рис. 1.9–1.13), в которых нужно квалифицировать компоненты балансовой структуры водоотбора и возможный режим фильтрации при длительной эксплуатации водозабора. Приведенные схемы явно упрощены, не содержат количественных характеристик и, что особенно важно, не охватывают всю область влияния водозабора, поэтому наши рассуждения, конечно же, будут иметь лишь качественный характер.

На рис.1.9, а, б водоотбор производится из первого от поверхности межпластового водоносного горизонта. Скорее всего, можно предполагать, что он взаимодействует с вышележащим грунтовым горизонтом (но интенсивность этого взаимодействия неясна и должна быть количественно выявлена при разведке). Судя по соотношению уровней, водозабор на рис. 1.9, а располагается в области естественного питания эксплуатируемого горизонта (нисходящее перетекание из вышележащего грунтового горизонта). При понижении его уровней интенсивность перетекания возрастёт, то есть в балансе водоотбора будут присутствовать привлекаемые ресурсы.

На рис. 1.9, б водозабор находится в зоне площадной разгрузки перетеканием из межпластового в вышележащий грунтовый водоносный горизонт. При эксплуатационном понижении уровней интенсивность этой разгрузки уменьшается – следовательно, водозабор использует естественные ресурсы межпластового горизонта. Отметим, что инверсия разгрузки имеет частичный характер (пониженные уровни межпластового горизонта нигде не опускаются ниже уровня грунтовых вод) – следовательно, привлекаемые ресурсы в этом случае не формируются.

На этом примере можно наглядно показать, для чего нужны подобные балансовые «рассуждения». В случае (а) возникновение дополнительного притока из грунтового горизонта (возможно, загрязнённого) может привести к постепенному изменению естественного качества воды в межпластовом горизонте, а в случае (б) такие предпосылки отсутствуют, так как водозабор использует только «собственную» воду межпластового горизонта.

Рис.1.10, а, б – в тех же естественных условиях водоотбор производится из грунтового водоносного горизонта. Здесь балансовая картина обратная: в случае (а) водозабор перехватывает некоторую часть естественной разгрузки грунтовых вод в межпластовый горизонт, то есть использует часть естественных ресурсов грунтового горизонта, а в случае (б) при эксплуатационном понижении уровней грунтовых вод возрастает



интенсивность перетекания из межпластового горизонта, то есть формируются привлекаемые ресурсы.

На рис.1.11 водозабор работает в грунтовом потоке вблизи несовершенной реки (озера, водохранилища). Это классический случай, уже рассмотренный нами выше. В структуре водоотбора участвуют как естественные ресурсы (инверсия русловой разгрузки), так и привлекаемые ресурсы (фильтрация речных вод на участках полной инверсии разгрузки).

На рис.1.12 в зоне влияния водозабора находится родник (сосредоточенная форма естественной разгрузки подземных вод). При распространении депрессионной воронки до точки выхода родника достаточно быстро произойдёт полная инверсия разгрузки, то есть в баланс водоотбора будут вовлечены естественные ресурсы эксплуатируемого горизонта в количестве, равном дебиту родника.

Близкая по смыслу ситуация показана на рис.1.13. Рассредоточенная естественная разгрузка происходит путём испарения (эвапотранспирации) на некоторой площади с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод. Инверсия этого очага разгрузки означает включение в баланс водоотбора естественных ресурсов эксплуатируемого горизонта, однако – в отличие от предыдущего случая с родником – после инверсии испарения на этой площади может формироваться инфильтрационное питание, суммарный расход которого следует рассматривать как привлекаемые ресурсы.

Во всех рассмотренных примерах участвуют и естественные запасы эксплуатируемого горизонта, которые в начальный период работы водозабора преобладают в балансе водоотбора. Режим фильтрации в это время существенно нестационарный, свидетельствующий об активном развитии депрессионной воронки. По мере распространения воронки на те или иные граничные элементы потока темп снижения уровней начинает замедляться. Возможность наступления стационарного режима фильтрации и необходимое для этого время определяются параметрическими характеристиками водоносной системы, производительностью водозабора, типом и балансовой обеспеченностью задействованных граничных элементов.



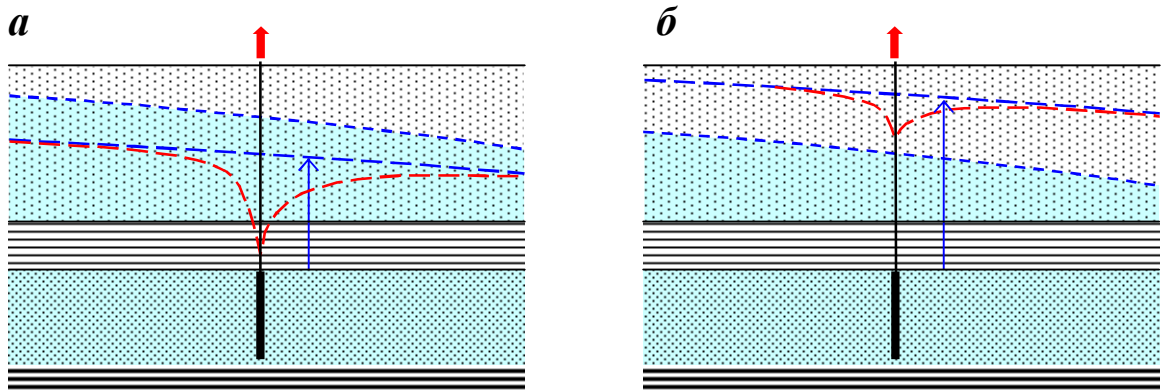


Рис. 1.9

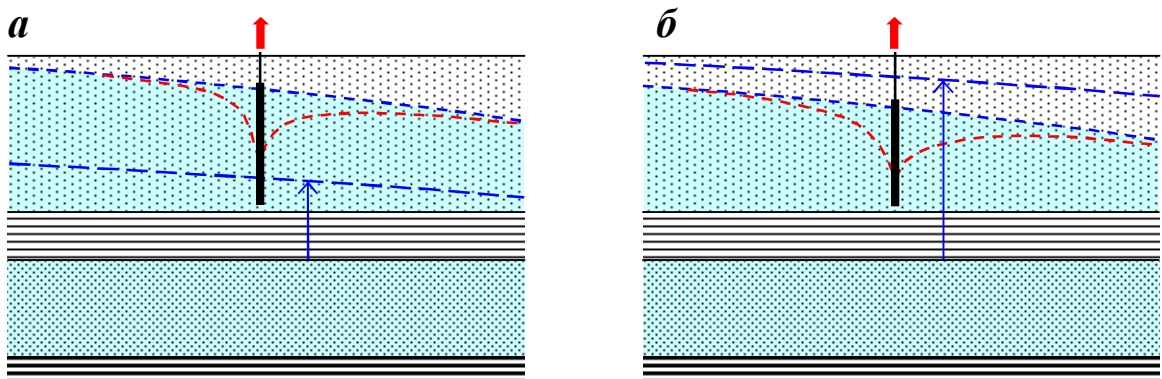


Рис. 1.10

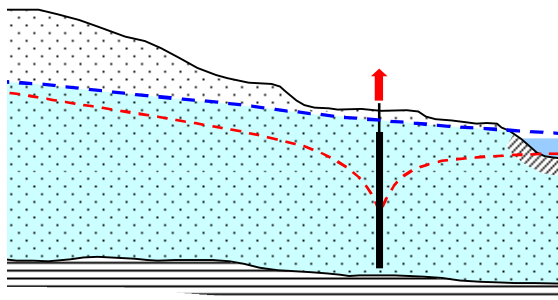


Рис. 1.11

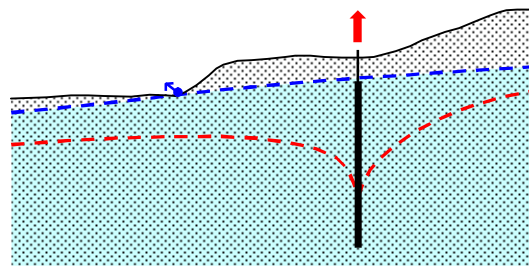


Рис. 1.12

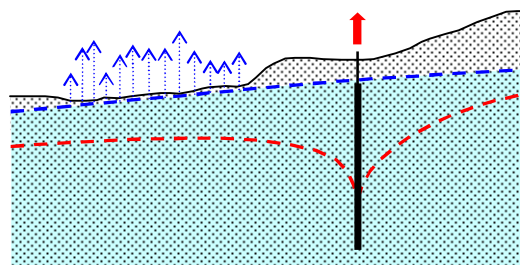


Рис. 1.13

