**Распределение гидрогеодинамических параметров**

Для стационарного прогноза необходима только проводимость основного водоносного горизонта, однако при разведке всегда оценивается и водоотдача - для оценки времени стабилизации, для миграционных расчетов.

Степень неоднородности по проводимости может быть весьма различной: от квазиоднородных схем до существенно неоднородных. Для водоносных горизонтов, приуроченных к аллювию, неоднородность обычно меньше и связана с колебаниями мощности, изменением возраста отложений, наличием погребенных участков долины. Если же основной горизонт связан с коренными отложениями, то они часто обнаруживают повышенную проницаемость в днищевой части долин с быстрым затуханием в сторону водоразделов. Это известное явление объясняют развитием трещин отпора и разуплотнения пород на участках максимального эрозионного врезания долин.

**Граничные условия потока**

Вверх и вниз по долине, как правило, можно принимать условие неограниченного пласта, формально "обрезая" расчетную область на таком расстоянии, чтобы туда уже не доходили понижения от водозабора. Область влияния водозабора на этих месторождениях относительно невелика, так как река сильно сдерживает развитие депрессионной воронки; поэтому реальную расчетную область ограничивают по условию (5÷7) (рис. 7.1). По направлению вглубь берега к водоразделам значимая область понижений распространяется на расстояние порядка (3÷4). Для несовершенных рек к величине необходимо добавлять эквивалентную длину.



По этим условным контурам при моделировании обычно задают условие непроницаемой границы, поскольку это технически проще (не требует специального ввода такого условия в исходных данных модели) и обеспечивает "запас прочности" прогнозного расчета, так как является наихудшим условием в балансово-гидродинамическом смысле.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7.1. Ограничение зоны влияния приречного водозабора |

Основное граничное условие для этого типа месторождений устанавливается на контуре реки. В общем случае это граничное условие 3-го рода. Вспомним (см. Гидродинамический метод оценки ЭЗ), что этим условием устанавливается линейная связь трансграничного расхода с разностью напоров между пластом и границей; при этом и уровень в пласте, и сам расход являются результатом решения. Заданными параметрами граничного условия являются уровень на границе и удельное фильтрационное сопротивление границы .



Рассмотрим подробнее возможные варианты состояния граничного условия на контуре реки. При этом для упрощения записи формул будем полагать:

а) проводимость - не зависит от положения уровня;

б) водозабор - компактный (одиночная скважина или группа близко расположенных скважин);

в) режим фильтрации - стационарный, т.е. дебит водоотбора полностью обеспечивается изменениями трансграничного расхода на контуре реки.

I. СОВЕРШЕННАЯ РЕКА, рис. 7.2).



Возможны два различных балансовых состояния:

а) дебит водозабора полностью обеспечивается ЧАСТИЧНОЙ ИНВЕРСИЕЙ разгрузки естественного потока в реку; привлечения из реки нет (= 0 ), а разгрузка в реку сохраняется с меньшим расходом ().



б) дебит водозабора обеспечивается суммой ПОЛНОЙ ИНВЕРСИИ естественной разгрузки и расходом ПРИВЛЕКАЕМОГО ПОТОКА (разумеется, нужно понимать, что полная инверсия разгрузки на контуре реки происходит только в средней части депрессионной воронки, вблизи водозабора; в периферийных ее частях инверсия разгрузки имеет по-прежнему частичный характер).



Таким образом, естественные ресурсы (инверсия разгрузки) и привлекаемые ресурсы могут участвовать в балансовой структуре водоотбора в разной степени. От чего зависит доля их участия ?

от соотношения величин и



от удаления водозабора от реки



Как влияют эти факторы на соотношение естественных (ЕР) и привлекаемых (ПР) ресурсов в балансе водоотбора ?

чем больше тем меньше доля ЕР



чем больше тем больше доля ЕР



чем больше тем больше доля ЕР



Чрезвычайно полезный показатель - "приведенный расход":

.



|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7.2. Балансово-гидродинамические схемы работы водозабора у совершенной реки |

Случай (а) существует при < 1; при этом между водозабором и урезом реки есть раздельная точка А (рис. 7.2,а). При = 1 точка А смещается на урез реки, и при > 1 наступает случай (б).



Полуширина фронта формирования привлекаемого потока из реки составляет (рис.7.2,б). Доля ПР, т.е. относительная величина привлекаемых ресурсов в дебите водоотбора, также вычисляется с использованием "приведенного расхода":



II. Более распространенным в природе является случай НЕСОВЕРШЕННОЙ РЕКИ с удельным сопротивлением подруслового экрана и физической шириной G (рис. 7.3).



Для характеристики сопротивления экрана можно использовать известный параметр - фактор перетекания [м]. Для описания исходных данных при моделировании обычно используют коэффициент перетока [].



Распространенным приемом упрощения расчетной схемы является замена реальной несовершенной реки на совершенную. Урез реки формально сдвигается на величину с таким расчетом, чтобы этот фиктивный дополнительный элемент пласта с проводимостью по своему фильтрационному сопротивлению компенсировал утрачиваемое сопротивление подруслового экрана. На сдвинутом урезе реки устанавливается граничное условие 1 рода (). Доказывается, что



|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7.3. Балансово-гидродинамическая схема работы водозабора у несовершенной реки |

Вспомним из курса "Гидрогеодинамики" некоторые детали условия на экранированных водотоках. Разность уровней подземных вод и реки в пределах акватории постепенно убывает от начальной (на урезе) величины по экспоненциальной зависимости:



.



Теоретически убывает до нуля бесконечно долго (при).



При работе водозабора за счет понижения уровней под руслом реки происходит инверсия разгрузки естественного потока. В ближайшей к водозабору части русла инверсия осуществляется полностью, после чего возникает приток из реки в виде перетекания через экранирующий слой. Основной расход перетекания (90-95%) локализуется в пределах так называемой "активной зоны реки" (будем далее использовать среднее значение 1.5B). Очевидно, что если "активная зона" меньше половины ширины реки , то водозабор практически не влияет на разгрузку естественного потока с противоположного берега и расход ни в какой своей части не участвует в формировании баланса водоотбора. Такую реку будем называть "ШИРОКОЙ"; для нее, или , где - безразмерная "ПРИВЕДЕННАЯ ШИРИНА РЕКИ".



Для оценки ЭЗ важно: если на разных берегах "широкой" реки расположить водозаборы, то они в балансовом и гидрогеодинамическом смысле независимы, так как их "активные зоны" под руслом реки не накладываются друг на друга. Следовательно, "широкая" река является внешней границей приречного месторождения подземных вод.

Термин "широкая" надо понимать виртуально: либо большая физическая ширина, либо малое сопротивление подруслового экрана, т.е. малая величина. Насколько распространены в природе "широкие" реки? Рассчитаем значение фактора перетекания для реально возможных диапазонов изменения проводимости основного горизонта и строения подруслового экрана. Минимальные значения он принимает при низкой проводимости пласта, малой мощности экрана и высокой его прионицаемости, максимальные - при обратном соотношении этих параметров.



Видно, что даже при маломощном экране, сложенном тонкозернистым песком, "широкой" река будет только при ширине более 30 м, а в случае суглинистого экрана с мощностью хотя бы в несколько метров река должна уже иметь ширину более двух километров. Таких рек единицы !

Таким образом, приходится сделать вывод, что во многих случаях при разведке приречных месторождений придется сталкиваться с "узкими" в гидродинамическом смысле реками .



Что меняется, если река "узкая" ?

"Активная зона" охватывает всю ее ширину; инверсируется расход разгрузки естественного потока с обоих берегов; привлечение речных вод может происходить по всей ширине русла (рис. 7.4). Река становится внутренней границей для месторождения. В составе расчетной схемы должен присутствовать противоположный берег со своими параметрами, т.е. на него должна распространяться область разведки. Если на узкой реке расположить водозаборы на разных берегах, то они будут взаимодействовать между собой.



|  |
| --- |
|  |
| Рис.7.4. Балансово-гидродинамическая схема работы водозабора у "узкой" несовершенной реки |

Изменяется и характер учета несовершенства реки. Для "широкой" реки в величине эквивалентной длины учитывается только сопротивление "своего" берега. Для "узкой" реки величина должна характеризовать условия формирования потока под рекой в целом. Принцип расчета (по схеме "треугольник", рис. 7.4) таков: привлекаемый из реки поток представляется в виде двух составляющих - через левую (условно) половину экрана () и через правую (). "Правый" поток должен преодолеть только свое "береговое" сопротивление , а "левый" - сумму (последовательное соединение) "берегового" сопротивления и сопротивления "проскока" . Общая величина привлекаемого потока описывается выражением:



,



где представляет собой параллельное соединение сопротивлений .



Учитывая, что при единичной ширине фильтрационное сопротивление равно , можно ввести специальные эквивалентные длины: ("береговое" сопротивление с одного берега), (сопротивление "проскока" под руслом), (обобщенное сопротивление "узкой" несовершенной реки). Соответственно выражение для привлекаемого потока приобретет вид:



,



где - обобщенная эквивалентная длина для "узкой" реки.



Как зависят эквивалентные длины от свойств экрана и физической ширины реки ? В теории фильтрации у несовершенных рек доказывается:



Тенденции поведения значения при изменении ширины реки (исходя из свойств гиперболических функций синуса и котангенса):



(физически широкая несовершенная река) (при > 3)



(исчезающе узкая река, деградация граничного условия) (при < 0.5)



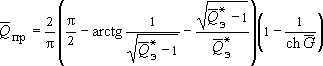
(при этом не надо забывать, что .



В промежуточном интервале (0.5 < < 3) для расчета нужно пользоваться вышеприведенным полным выражением.



Балансовая структура эксплуатационного водоотбора также претерпевает изменения в сторону уменьшения относительной роли ПР при уменьшении приведенной ширины . При относительно небольшом несовершенстве (> 2-3 ) еще можно пользоваться аналитическим описанием:



(при этом приведенный расход рассчитывается с использованием () и ).



Для более высокой степени несовершенства рек аналитических зависимостей нет (точнее, они могут быть получены в чрезвычайно громоздком и непригодном для практического применения виде). В таких случаях для анализа баланса водоотбора следует использовать моделирование.

Возможность возникновения СВОБОДНОГО РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ под рекой.

Это достаточно острый вопрос с точки зрения достоверности оценки понижения уровней и балансовой структуры ЭЗ.

В предыдущем рассмотрении мы предполагали, что взаимодействие потока подземных вод с рекой происходит в подпертом режиме, т.е. при сохранении гидравлической связности (неразрывности) всей "фильтрационной цепочки". Однако, такое положение может быть нарушено при возникновении больших понижений уровня под руслом реки - например, при слишком большом дебите или при значительном сопротивлении экрана. Если пониженный уровень подземных вод под руслом опустится ниже подошвы экрана, то возникает так называемый "ОТРЫВ": поверхность потока подземных вод под рекой становится свободной, а привлекаемый поток из реки имеет характер "дождевания", т.е. происходит при неполном насыщении порового пространства (рис. 7.5). Физическая основа этого явления - в резком различии активной пористости глинистых пород экрана и хорошо проницаемых пород водоносного горизонта (). Такой режим взаимодействия подземных и поверхностных вод называется СВОБОДНЫМ.



Что меняется при возникновении отрыва на участке русла ?

Напор на плоскости разрыва сплошности потока становится постоянным и равным отметке подошвы экрана над плоскостью сравнения, так как пьезометрическая высота здесь равна нулю. Соответственно выражение для расхода привлекаемого потока приобретает вид (обозначения на рис. 7.5):



.



|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7.5. Балансово-гидродинамическая схема работы водозабора в условиях отрыва уровней от подошвы подруслового экрана |

Принципиально важно: расход привлекаемого потока в зоне отрыва не зависит от напора (или понижения). Следовательно, это граничное условие 2 рода. Таким образом, в результате отрыва уровня от подошвы экрана качественно меняется гидродинамический род условия на реке - происходит "вырождение" условия 3 рода в условие 2 рода (известное значение расхода). Далее будем называть это явление "КОНВЕРСИЕЙ" граничного условия.

Условие возникновения отрыва: или . Понятно, что зона отрыва имеет ограниченный размер и возникает, в первую очередь, где-то в районе водозабора, т.к. там наибольшие значения (рис. 7.6).



|  |
| --- |
|  |
| Рис. 7.6. Локализация балансово-гидродинамических зон в области депрессии напоров под руслом "узкой" несовершенной реки:  а) ненарушенный режим, б) частичная инверсия естественной разгрузки,  в) полная инверсия естественной разгрузки и привлечение в подпертом режиме, г) полная инверсия естественной разгрузки и привлечение в свободном режиме |

Явление конверсии, несомненно, снижает роль ПР в балансе водоотбора. Как реагирует на это водозабор? Ему приходится расширять зону влияния вдоль реки, понижая уровни, пока расширение воронки не даст дополнительную инверсию разгрузки и привлечение на флангах воронки. Таким образом, конверсия увеличивает понижения уровней, увеличивает размеры депрессионной воронки и несколько понижает относительную роль ПР в структуре баланса.

Критическое значение дебита водоотбора, при превышении которого возникает отрыв, для простых расчетных схем можно предварительно оценить на основе аналитических критериев:

Одиночная скважина (или компактная группа) у "широкой" реки

,



где



Одиночная скважина (или компактная группа) у "узкой" реки

,



где символ интегральной экспоненциальной функции.

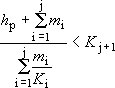


Равномерный равнодебитный линейный ряд длиной с шагом ()



Аналитических зависимостей для расчетов водозаборов с учетом явления конверсии нет. В алгоритмах программ численного моделирования фильтрации обычно предусматривается возможность конверсии граничных условий 3 рода, однако в этом следует специально убедиться. В описании исходных данных должен существовать какой-то показатель для контроля факта отрыва - чаще всего это отметка уровня отрыва (в принятой системе отсчета напоров). Это сложно определяемая и весьма переменчивая характеристика, оценка которой при разведке требует тщательного изучения строения русловых и подрусловых отложений. В относительно простом случае моноэкрана (однослойного строения) проблема состоит, главным образом, в оценке его мощности под руслом реки. Гораздо сложнее оценить возможный уровень разрыва потока в распространенном случае слоистого экрана. Теоретически разрыв вертикального потока в слоистой толще происходит между слоями с номерами (сверху вниз) j и j+1, на границе раздела которых выполняется условие:

.



Это чрезвычайно сложная методическая задача, удовлетворительного практического решения которой пока не существует.