**Месторождения подземных вод в изолированных пластах и в пластовых системах**

Наиболее наглядно их можно охарактеризовать на примере водоносных систем крупных артезианских бассейнов платформенного типа. Здесь используются преимущественно межпластовые водоносные горизонты (грунтовые воды часто подвержены существенному загрязнению, а малая мощность и невысокие фильтрационные свойства водовмещающих отложений затрудняют создание сколько-нибудь крупных централизованных водозаборов).

Месторождения локализуются в пределах мощности зоны пресных вод (зоны интенсивного водообмена) - обычно в пределах 100-300 м; однако, бывает 500-700 м, а в отдельных случаях до 1000 м и более. В Подмосковье (юго-западная часть Московского артезианского бассейна) используется 7-9 межпластовых горизонтов в разрезе каменноугольных карбонатных отложений.

Основные, характеристические особенности гидрогеологических условий формирования эксплуатационных запасов:

- выраженное пластовое строение водоносной системы, т.е. чередование в разрезе проницаемых (водоносных) и слабопроницаемых (разделяющих) пластов,

- региональное распространение пластов, относительная устойчивость их мощности и литолого-фациальных характеристик (в основном, морские условия седиментации),

- определяющая роль процессов перетекания как в естественных условиях (вспомним схему Мятиева-Гиринского - формирование подземного стока в пластовых разрезах), так и (тем более!) при эксплуатации водозаборов - за счет искусственно создаваемых вертикальных градиентов напора между водоносными пластами.

Однако, роль процессов перетекания существенно различна в пределах артезианской структуры - как в плане, так и по глубине. В региональном гидрогеодинамическом плане в артезианском бассейне можно выделить:

а) краевая зона, для которой характерно неглубокое залегание продуктивных горизонтов; проницаемость разделяющих слоев относительно высока из-за слабой консолидированности, опесчаненности (мелководные, прибрежные условия седиментации) и воздействия современных и древних экзогенных процессов при небольших глубинах залегания; достаточно тесная связь с гидрометеорологическими факторами,

б) внутренняя зона, характеризующаяся уже достаточно глубоким погружением водоносных горизонтов; ей свойственны значительная мощность и высокая степень консолидации водоносных и слабопроницаемых слоев, постепенное затруднение водообмена; возникают проблемы с химическим составом подземных вод (вертикальная гидрогеохимическая зональность).

**Основные черты фильтрационных схем месторождений подземных вод в пластовых системах артезианских бассейнов**

РЕЖИМ ФИЛЬТРАЦИИ ВО ВРЕМЕНИ - в общем случае, нестационарный, так как перетекание между слоями - длительно развивающийся процесс. Принципиально возможно существование (в течение реального расчетного срока эксплуатации) самых разнообразных случаев: от существенного нестационара до длительного ложностационарного или истинно стационарного режима.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОТОКА также зависит от степени проявления перетекания. Во "внутренней" зоне взаимодействие горизонтов практически малозначимо, поэтому допустимо применение плановой или даже одномерной (радиальной) расчетной структуры течения к водозабору. В "краевой" зоне нужно учитывать притоки из смежных горизонтов, поэтому в общем случае здесь следует применять трехмерную структуру, но при выполнении предпосылок перетекания () возможно использование плоско-пространственной структуры течения: плановое, двумерное течение в водоносных горизонтах и одномерное, линейное течение в разделяющих слоях (по нормали к напластованию). Использование плоско-пространственной расчетной структуры существенно облегчает ситуацию: становятся возможными аналитические расчеты, да и моделирование заметно проще, чем для "истинно" трехмерных моделей.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ - в силу литолого-фациальной устойчивости осадочных платформенных толщ часто можно применять схемы однородных (квазиоднородных) пластов. Однако, области депрессии от водозаборов обычно очень большие (упругая водоотдача, большие радиусы влияния), поэтому все же следует быть готовым к проявлению более или менее значительной неоднородности по все параметрам.

Какие параметры работают? Проводимость и водоотдача всех взаимодействующих горизонтов (параметры разделяющих слоев, пожалуй, правильнее относить к описанию граничных условий).

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ - в плане водоносную систему для расчетов чаще всего можно считать (временно) неограниченной (хотя в частных случаях это вовсе не факт). Основное значение имеют граничные условия в разрезе; здесь возможны два принципиально разных варианта:

а) изолированный пласт

б) взаимодействующие пласты (перетекание через кровлю и/или подошву основного пласта).

Изолированный пласт

Эта схема нередко применяется для МПВ во "внутренней" зоне артезианских структур.

Единственный источник формирования ЭЗ - естественные запасы эксплуатируемого пласта (упругие! т.е. порядок водоотдачи ~ 10-4 ). Очень слабый источник, нужны огромные воронки...



Например, при = 1 тыс.куб.м/сут (совсем немного!) за 10 тыс.суток извлекается 107 куб.м воды. Соответственно необходимый объем депрессионной воронки 107/ ≈ 1011 куб.м. При среднем понижении 10 м (очень много!) площадь воронки 1010 кв.м, т.е. ее радиус превышает 50 км! Скорее всего, это нереальная цифра: в природе на таких расстояниях неизбежно случится какая-то смена условий, подключатся другие источники формирования ЭЗ. Тем не менее, несмотря на явную условность такого расчета, можно сделать вывод о региональном характере депрессионных воронок при значительной изолированности водоносных пластов в разрезе.



Основные параметры для этой схемы: проводимость и упругая водоотдача основного пласта - определяются практически только с помощью ОФО.

Нестационарный режим на любой расчетный срок; радиальная или простая плановая структура.

Подсчет запасов:

а) Для компактных водозаборов (одиночные скважины, кольцевые батареи, небольшие площадные группы скважин):



здесь - радиус скважины или радиус "большого колодца", заменяющего расчетную водозаборную систему, - пьезопроводность основного пласта.



Очень быстро в водозаборе устанавливается квазистационарный режим:



б) Для крупных площадных систем - решения строятся по принципу взаимодействия, т.е. сложением.

Для неоднородных (по проводимости) схем применяют моделирование. В простых случаях (пласт-полоса, пласт-круг, пласт-угол) есть аналитические решения.

Следует уточнить понятие "изолированный пласт". В широком смысле этим термином обозначается любой пласт, не имеющий взаимодействия со смежными пластами в вертикальном разрезе. Следовательно, под это определение попадает, например, и грунтовый водоносный горизонт (при условии пренебрежимо малого перетекания через его подошву), несмотря на наличие инфильтрации и других форм его питания и разгрузки, не связанных с механизмом перетекания.

Взаимодействующие пласты

Такая расчетная схема более характерна для "краевой" зоны артезианских бассейнов.

Перетекание - медленно проявляющийся и физически плохо изученный процесс, т.к. активная пористость глин практически ничтожна. Тем не менее (точнее, за неимением лучшего) в гидрогеодинамических построениях принимается, что перетекание подчиняется линейному закону фильтрации.

Источники формирования ЭЗ: при кажущейся ясности - непростой вопрос, решение которого требует проследить балансовую цепочку до конца, чтобы выявить весь набор процессов и параметров, контролирующих балансово-гидрогеодинамическую схему.

Сначала примем, что в смежных горизонтах при эксплуатации не происходит понижение уровней

(пока без обсуждения - почему ? )

Рассматриваем стационарный режим; ограничимся рассмотрением взаимодействия только через один разделяющий слой (в кровле или подошве) - принципиально все будет так же и в случае "двойного" взаимодействия.

Будем обозначать индексами: 1 - основной горизонт, 2 - смежный горизонт, 0 - разделяющий слой.

А. Случай расположения водозабора в области первоначального питания, т.е. в естественных условиях, до начала эксплуатации, имело место питание из смежного горизонта в основной (вспомнить: в схеме Мятиева-Гиринского это - междуречья). Естественное соотношение уровней .



Для единичного в плане элемента водоносной системы:

Расход естественного перетекания в балансовом смысле положителен (рис.8.1); при формировании депрессионной воронки направление перетекания не меняется (т.е. ), но интенсивность его возрастает. Разность величин трансграничного расхода в ненарушенных условиях и при эксплуатации в данном случае является единственным (при стационарном режиме депрессии) балансовым источником формирования ЭЗ (); по генетической принадлежности - это ПРИВЛЕКАЕМЫЕ РЕСУРСЫ (возрастание естественного питания ).



|  |
| --- |
|  |
| Рис.8.1. Взаимодействие водоносных горизонтов в ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ (синий цвет) и при ЭКСПЛУАТАЦИИ (красный цвет) водозабора в области первоначального питания при постоянном уровне в смежном горизонте |

Гидрогеодинамический смысл формирования величины :



Напомним: 1); 2) Для соблюдения балансового знака расхода на первое место в трансграничной разности напоров нужно ставить напор на границе - в данном случае напор в смежном горизонте :



.



Это граничное условие 3 рода: - удельное фильтрационное сопротивление разделяющего слоя (формально - коэффициент пропорциональности между притоком через границу и напором (понижением) в пласте).



Б. Что изменится, если водозабор расположить в области первоначальной разгрузки из основного горизонта в смежный (это более частый случай - долины рек, по схеме Мятиева-Гиринского) ?

Естественное соотношение уровней ; балансовый знак расхода перетекания - отрицательный (). В области стационарной депрессионной воронки образуются две концентрические зоны (рис.8.2):



В зоне I (внутренняя часть воронки) ; направление перетекания (следовательно, и балансовый знак расхода) изменился на противоположный ().



В зоне II (периферия воронки) ; сохраняется направление и балансовый знак перетекания (), но расход его становится меньше естественного.



|  |
| --- |
|  |
| Рис.8.2. Взаимодействие водоносных горизонтов в ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ (синий цвет) и при ЭКСПЛУАТАЦИИ (красный цвет) водозабора в области первоначальной разгрузкипри постоянном уровне в смежном горизонте |

Несложно убедиться в том, что гидрогеодинамическое описание формирования величины как разности расходов перетекания () не только будет одинаковым в обеих зонах, но и аналогично вышерассмотренному случаю А - это граничное условие 3-го рода. Однако, балансовая структура ЭЗ видоизменяется. На периферии воронки (зона II), где понижения невелики, происходит лишь частичная инверсия естественной разгрузки (это , т.е. ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ основного пласта). Вблизи водозабора (в зоне I) происходит полная инверсия разгрузки, после чего возникает перетекание из смежного горизонта, т.е. ПРИВЛЕКАЕМЫЕ РЕСУРСЫ (дополнительное питание основного горизонта ).



Таким образом, видно, что независимо от знака (направления) начального взаимодействия и от соотношения уровней при эксплуатации по всей депрессионной воронке существует граничное условие 3 рода (на кровле и/или подошве основного пласта), генетически связанное с явлением перетекания через слабопроницаемые глинистые породы. Три рассмотренных варианта (А, Б-I, Б-II) различаются только соотношением знаков естественных () и нарушенных () трансграничных расходов; при этом величина в любом случае больше 0.



Теперь вспомним, что мы использовали условие , т.е. предположили, что в смежном горизонте запасы воды практически мгновенно и полностью восстанавливаются или расходуются очень незначительно (медленно). Естественно, что в этих условиях следует рано или поздно ожидать наступления стационарного режима (или чего-то вроде этого).



Выполнение условия "мгновенного и полного" восстановления запасов возможно при наличии достаточно мощных "собственных" граничных условий в смежном горизонте (например, разветвленная площадная система озер, болот, рек, очагов эвапотранспирации). С другой стороны, при очень большой (гравитационной!) водоотдаче смежного горизонта понижения в нем хотя и будут развиваться, но гораздо медленнее, чем в основном горизонте.

Отсюда следует, что допущение относительного постоянства напоров в смежном горизонте реально только в том случае, если он имеет грунтовый характер.

Важный практический вопрос - когда наступит стационар? (т.е. какой режим является расчетным).

Теоретически нестационарный режим сохраняется бесконечно долго; доля срабатываемых упругих запасов основного горизонта стремится к нулю лишь при :



,



где - пьезопроводность основного горизонта, - фактор перетекания.



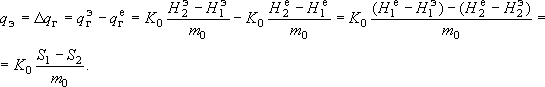
Задаваясь погрешностью признания факта стабилизации ≈ 0.1 ÷ 0.01, можно получить критерий времени практической стабилизации в виде .



Если же смежный горизонт неспособен быстро и эффективно восстанавливать свои запасы, то в нем будет постепенно развиваться понижение уровня в связи с расходованием воды на перетекание. Надо признать, что эта ситуация более реальна в природных условиях. Рассмотрим ее отличия от схемы с постоянным уровнем (на примере области первоначального питания).



В связи с образованием депрессионной воронки в смежном горизонте (рис.8.3) несколько видоизменится гидрогеодинамическое описание формирования величины :



Видно, что это тоже условие 3 рода, но интенсивность его действия при прочих равных условиях слабее - за счет существования величины . Надо четко понимать, что в этих условиях не может быть достигнут стационарный режим фильтрации, поэтому приведенное на рис.8.3 состояние депрессионных поверхностей надо относить к некоторому моменту времени от начала эксплуатации.



|  |
| --- |
|  |
| Рис.8.3. Взаимодействие водоносных горизонтов в ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ (синий цвет) и при ЭКСПЛУАТАЦИИ (красный цвет) водозабора (в области первоначального питания) при снижающемся уровне в смежном горизонте |

Отметим некоторые интересные детали формирования депрессии в подобных условиях:

Как вообще выглядит развитие понижений в обоих горизонтах во времени ?

|  |
| --- |
|  |
| Рис.8.4. Временное прослеживание понижений во взаимодействующих водоносных горизонтах |

При наступлении квазистационарного режима понижений уровней во всей системе величина , следовательно, фиксируются и величины , т.е. в принципе в зоне квазистационара происходит конверсия граничного условия 3-го рода и расход перетекания здесь уже не зависит от положения напоров (и величин понижения).



Рассмотрим долевое участие упругих запасов основного горизонта в зависимости от характера смежного горизонта. Теоретическое решение:



При предел доли упругих запасов составляет



Возможные предельные варианты:

а) если смежный горизонт - напорный, т.е. упругая водоотдача практически одинакова, то = 0.5, т.е. оба горизонта поровну участвуют в обеспечении ; ложностационарный участок короткий и слабовыраженный;



б) если смежный горизонт - грунтовый, т.е. имеет гравитационную водоотдачу, то 0.01 и менее, т.е. доля упругих запасов самого эксплуатируемого горизонта ничтожна мала и практически полностью обеспечивается перетеканием; ложный стационар долгий и очень рельефный.



Немаловажный практический вопрос: длительность ложностационарного этапа - когда наступит квазистационар ?

По М.С.Хантушу (с упрощениями):



a) если смежный горизонт упругий ;



б) если смежный горизонт грунтовый



Численный пример с ординарным набором параметров: T1 = 500, T2 = 100 кв.м/сут, m 2 = 0.1, m0 = 10 м, K0 = 10-3 м/сут.

Отсюда a2 = 103 кв.м/сут, B2 = 5×106 кв.м; = 2.5×104 сут !!!



Вывод: в течение всего расчетного срока работы водозабора будет существовать ложностационарный режим с чрезвычайно медленным развитием понижения в основном горизонте, что позволяет в качестве расчетного рассматривать стационарный режим. Однако, как видно на рис.8.4, в течение этого периода будут развиваться достаточно заметные понижения в смежном горизонте.