

«Эксплуатационная разведка месторождений подземных вод»

**для слушателей магистратуры ОП
«Гидрогеология и инженерная
геология»**

**Лекция 11
Проф. М.Заппаров**

Понятие об эксплуатационных запасах
подземных вод (ЭЗПВ)
Методы оценки ЭЗПВ
Гидродинамический метод оценки
Категоризации эксплуатационных запасов
подземных вод

Современные водозаборные сооружения – это, как правило, система вертикальных скважин и лишь изредка галереи, колодцы, шахты, родники.

Под понятием геолого-технического обоснованного водозаборного сооружения понимаются минимальные капитальные и эксплуатационные затраты, что достигается оптимальным согласованием следующих позиций:

- возможности водоотбора в объеме заявленной потребности минимальным количеством компактно расположенных водоприемных сооружений, что достигается выбором участка с наиболее благоприятными параметрами пласта и границ, оптимальной конструкции скважин, наиболее оптимальной схемы размещения водозаборных сооружений;**
- наиболее близкого расположения водозабора к потребителю, обеспечивающего возможность уменьшения длины магистрального водовода, энергетических коммуникаций и т.п.**

Величина допустимого снижения уровня воды в водозаборе определяется исходя из мощности водоносного горизонта, величины напора подземных вод, технических возможностей при условии предотвращения или сведения к минимуму ущерба окружающей природной среде, связанного с отбором подземных вод.

Допустимая величина понижения напора в скважине ($H_{\text{доп.}}$), ниже которой не должен опускаться динамический уровень, принимается следующим образом:

- для грунтовых подземных вод величина допустимого понижения не должны превышать 0,7 первоначальной мощности пласта;
- для напорных подземных вод допустимое понижение принимается равным высоте столба воды над кровлей водовмещающего пласта. Иногда предполагается и осушение водовмещающего пласта на половину его мощности.

В каждом конкретном случае величина допустимого понижения определяется исходя из технико-экономических соображений (в случае работы скважин на самоизливе, или эксплуатации при очень глубоких уровнях залегания подземных вод и т.п.).

Расчетный срок эксплуатации устанавливается в зависимости от целевого назначения водозаборного сооружения:

- для водоснабжения долговременных объектов расчетный срок определяется сроком амортизации оборудования (25-30 лет) и в расчетах берется обычно 10 000 суток (27,4 лет);
- для водозаборов кратковременного действия (временных) сроком эксплуатации является срок существования потребителя;
- для периодических водозаборов (орошение, теплофикация и др.).

Кроме расчетного срока определяется продолжительность работы в период каждого цикла.

В процессе эксплуатации **качество подземных вод** может оставаться неизменным или изменяться. Возможность изменения качества вод обуславливается гидрогеологическими и гидрохимическими условиями, наличием источников загрязнения, условиями и величиной водоотбора. В связи с этим, срок возможного действия водозабора определяется с обязательным соблюдением условий сохранения требуемого качества воды.

Качество извлекаемой водозабором подземной воды должно сохраняться в течение расчетного срока эксплуатации в пределах, допустимых требованиям действующих ГОСТов. Каждое отклонение от этих требований согласовывается с органами санитарного надзора или водопотребляющими организациями.

Под формированием эксплуатационных запасов подземных вод понимается процесс поступления воды к водозаборным сооружениям, характер которого определяется совокупностью естественных (геолого-гидрогеологических и физико-географических) и антропогенных факторов (в т.ч. геолого-технологических условий разработки), а также их изменениями при эксплуатации.

Совокупность же факторов, характеризующих естественную природную и антропогенную обстановку, в которой происходит эксплуатация, определяется как условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

Понятие «месторождение полезных ископаемых» является геолого-экономическим и его границы, зависящие от кондиций, являются условными. Исходя из этого границы месторождения определяются не только геолого-гидрогеологическими, технико-экономическими и социально-экологическими требованиями.

Значительная роль отводится здесь таким факторам, как целесообразность, условия и возможность освоения месторождения.

При оценке границ месторождения эти факторы определяют:

- возможность размещения водозаборных сооружений и трасс водоводов по условиям местности и землеотведения;**
- полный или частичный вывод земель из среды народнохозяйственного освоения в связи с разработкой месторождения;**
- ограничения в освоении земель в связи с организацией зон санитарной охраны, включаемых в контур месторождения;**
- введение природоохранных ограничений.**

Помимо непосредственных границ месторождения подземных вод выделяют также следующие области:

- **область влияния водозаборов**, совпадающую с площадью депрессионной воронки;
- **область формирования** эксплуатационных запасов подземных вод, соответствующую площади водосбора, где формируются подземные воды, поступающие в пределы месторождения.

Формирование самого месторождения подземных вод происходит под влиянием благоприятных геолого-гидрогеологических и социально-экономических факторов, таких, как:

- наличие пластов-коллекторов с высокими фильтрационными свойствами;
- благоприятные условия питания и восполнения подземных вод в естественных условиях;
- возможность при необходимости создания условий для искусственного питания и восполнения запасов подземных вод;
- соответствие качества подземных вод требованиям потребителя;
- возможность организации мероприятий по защите подземных вод от загрязнения;
- наличие благоприятной социально-экономической конъюнктуры.

Эксплуатационные запасы - это особая балансовая категория, проявляющаяся только при возмущении естественной гидродинамической обстановки конкретным водозабором, расположенным в определенном месте и имеющим определенную конструкцию.

Баланс водоносного горизонта в естественных условиях при неизменном объеме запасов пласта выражается

$$Q_n = Q_p,$$

где Q_n - расход питания пласта;

Q_p - расход разгрузки пласта.

Изменения баланса заключаются в следующем:

- запасы водоносного пласта при эксплуатации уменьшаются в связи с формированием депрессионной воронки (с большей интенсивностью на начальном этапе);
- в дальнейшем понижение напора замедляется, а иногда и приостанавливается, если водоотбор компенсируется другими источниками поступления воды;
- при отсутствии источников поступления развития депрессионной воронки продолжается постепенно.

В практических расчетах эксплуатационный дебит водозабора принимается таким, чтобы за расчетный срок понижение уровня не превысило допустимого.

Чаще в реальных случаях в области эксплуатационных депрессий напоров происходит изменение естественных условий питания и разгрузки потока. Выражается это в увеличении интенсивности питания и уменьшения интенсивности разгрузки.

Уменьшение напора в пласте в условиях эксплуатации приводит к уменьшению разгрузки вплоть до её полного прекращения.

Дальнейшее увеличение водоотбора и понижение напора в пласте может привести к возникновению потока с границы, т.е. дополнительному (не существующему в естественных условиях) питанию водоносного горизонта.

при работе водозабора баланс эксплуатируемого водоносного горизонта
выглядит следующим образом:

$$(Q_{\text{п}} + Q_{\text{доп}}) + \frac{V_{\text{д.в.}}}{t_{\text{э}}} = (Q_{\text{р}} - Q_{\text{р.сокр}}) + Q_{\text{э}}$$

где $Q_{\text{п}}$ – расход питания пласта;

$Q_{\text{доп.}}$ - дополнительные (привлекаемые) запасы;

$V_{\text{д.в.}}$ - объём депрессионной воронки (используемая часть естественных
запасов);

$t_{\text{э}}$ - время эксплуатации;

$Q_{\text{р}}$ - расход разгрузки пласта;

$Q_{\text{р.сокр.}}$ - сокращение разгрузки пласта;

$Q_{\text{э}}$ - эксплуатационные запасы.

При $Q_{\text{п}} = Q_{\text{р}}$ уравнение будет выглядеть:

$$Q_{\text{э}} = \frac{V_{\text{дв}}}{t_{\text{э}}} + Q_{\text{доп}} + Q_{\text{р.сокр}}$$

Оценка эксплуатационных запасов
подземных вод осуществляется
следующими методами:

- гидродинамическим;
- гидравлическим;
- балансовым;
- методом аналогий.

Гидродинамический метод основан на применении для расчетов водозаборов математических формул, полученных решением дифференциальных уравнений фильтрации. К гидродинамическому методу относятся также методы математического моделирования. Формулы, полученные на основе решений дифференцированных уравнений при заданных начальных и граничных условиях, используются для доказательства обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод.

Гидравлический метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод основан на непосредственном использовании данных откачек из скважин. Расчет водоотбора этим методом сводится к экстраполяции по кривым дебита графикам зависимости дебита от понижения или по эмпирическим графикам зависимости понижения от времени, полученным по данным откачек.

Балансовый метод оценки эксплуатационных запасов заключается в составлении балансового уравнения подземных вод для зон действия водозаборного сооружения. При составлении балансового уравнения принимается, что дебит формируется за счет части естественных запасов, перехвата естественных ресурсов, поступления из дополнительных источников питания и т.п.

Балансовый метод используется обычно для оценки общих эксплуатационных возможностей отбора подземных вод и оценивает среднюю величину снижения уровней подземных вод на участке эксплуатации.

Метод **гидрогеологических аналогий** заключается в переносе данных с более изученных участков на менее изученные. Для этого необходимо условие сходности гидрогеологических характеристик, условий питания, граничных условий изучаемого участка и участка-аналога.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод **гидродинамическим методом** сводится к расчету понижения уровней воды в скважинах водозабора при заданном дебите скважин и с учетом принятых начальных и граничных условиях и параметрах водоносного горизонта в пределах рассматриваемой области фильтрации.

Эксплуатационные запасы могут рассчитываться на неограниченное время (установившийся режим) или на определенный срок амортизации (неустановившийся режим). Расчет водозабора ведется с учетом взаимодействия скважин в водозаборе.

Оценка эксплуатационных запасов гидродинамическим методом осуществляется в следующей **последовательности**:

- 1) устанавливаются природные гидрогеологические условия - закономерности геологического строения, условия залегания и распространения водоносных горизонтов и водоупоров, гидрогеологические параметры и закономерности их изменения в плане и разрезе;
- 2) выявляются основные источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод;
- 3) составляется природная гидрогеологическая схема, при этом учитывается строение области фильтрации, ее условия на границах рассматриваемой территории, закономерности изменения фильтрационных и емкостных параметров водоносных и слабопроницаемых толщ; здесь берется во внимание структура области фильтрации в вертикальном разрезе (один или несколько водоносных горизонтов), геометрические очертания границ области фильтрации в плане, связанные с изменением литологического состава, выклиниванием водоносных горизонтов, тектоническими нарушениями и т.д.; определяются условия на границах водоносного горизонта (непроницаемые границы, границы с постоянным или переменным уровнем или расходом);
- 4) составляется расчетная схема оценки эксплуатационных запасов подземных вод; расчетная схема составляется на основании природной гидрогеологической схемы;

5) выбирается метод расчета (аналитический или математическое моделирование); при аналитическом методе выбираются на основании расчетной схемы расчетные уравнения; аналитические методы оценки эксплуатационных запасов применяются при относительно простых гидрогеологических условиях и обеспечивают вполне достаточную точность (такими условиями характеризуются глубокие водоносные горизонты в артезианских бассейнах, участки речных долин с активной взаимосвязью подземных и поверхностных вод, месторождения подземных вод в песчаных массивах и т.д.);

6) осуществляется расчет водозабора и результаты расчета сравниваются с доступными значениями; исходя из требуемой производительности водозабора определяется общее количество водозаборных скважин, схема их размещения, расстояние между ними с учетом граничных условий; устанавливается расчетный срок эксплуатации и допустимое понижение; применительно к выбранной схеме водозаборного сооружения приводится расчет величины понижения уровня, которая сравнивается с допустимой; если расчетное понижение не превосходит допустимого, эксплуатационные запасы могут считаться обеспеченными; целесообразно провести также расчет для определения максимально возможного дебита при заданном допустимом понижении.

Обычно рассматривается работа водозабора, состоящего из нескольких взаимодействующих скважин, или как простейший тип водозабора, одиночная водозаборная скважина. Расчет водозаборного сооружения скважинного типа за редким исключением осуществляется при заданном дебите эксплуатации. Основной расчетной формулой понижения уровня воды в одиночной скважине для напорных пластов является:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \cdot R_c$$

для безнапорных
вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{2\pi k} R_c}$$

- где S - понижение при эксплуатации;
- Q - эксплуатационный дебит (эксплуатационные запасы);
- Km - водопроводимость пласта;
- R_c - фильтрационное (гидравлическое) сопротивление, определяемое в соответствии с принятой расчетной схемой;
- K - коэффициент фильтрации;
- H - мощность безнапорного водоносного горизонта.

Расчет понижения уровня воды в скважине, расположенной в пределах водозабора, в условиях взаимодействия согласно методу суперпозиции рассчитывается по формуле

$$S = S_0 + \sum_{i=1}^n \Delta S_i$$

где S_0 - понижение уровня воды в скважине при её работе как одиночной (без взаимодействия);

$\sum_{i=1}^n \Delta S_i$ - сумма понижений уровня воды (срезок уровня), вызванных работой взаимодействующих скважин.

При расчете эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическим методом природные

гидрогеологические условия схематизируются и представляются в виде расчетной схемы.

При этом, чем точнее схематизация основных факторов, определяющих закономерности формирования эксплуатационных запасов подземных вод, тем точнее и расчет

самых эксплуатационных запасов.

При составлении расчетной фильтрационной схемы схематизации подвергаются:

- гидрогеологический разрез области фильтрации;
- изменчивость фильтрационных и емкостных параметров водовмещающих пород по площади

и в разрезе;

- геометрические очертания области фильтрации;

- начальные и граничные условия;

- структура потока подземных вод;

- режим движения подземных вод;

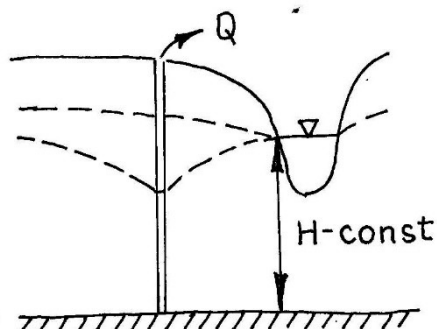
- система расположения водозаборных сооружений и режим их эксплуатации.

При учете границ их реальные криволинейные очертания условно изменяются прямолинейными или круговыми, а сами границы принимаются за вертикальные плоскости.

Для установления гидрогеологических условий на основании анализа комплекса природных факторов выделяются граничные условия в плане и разрезе.

Граничные условия в плане определяют особенности питания подземных вод через боковые границы рассматриваемой области. Здесь выделяются:

- граница водоносного пласта с постоянным напором $H = \text{Const}$, где отмечается интенсивное питание подземных вод за счет инфильтрации поверхностных;

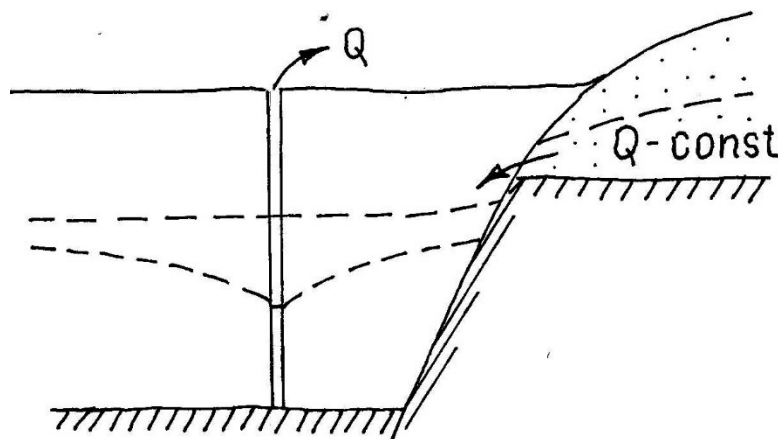
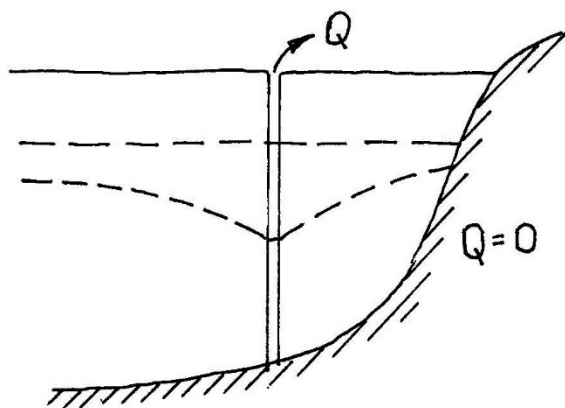


- граница водоносного пласта с постоянным расходом $Q = \text{Const}$

Наиболее часто встречающийся случай, когда питание со стороны границы

отсутствует $Q = 0$, при этом депрессионная кривая, дойдя до границы

будет
по

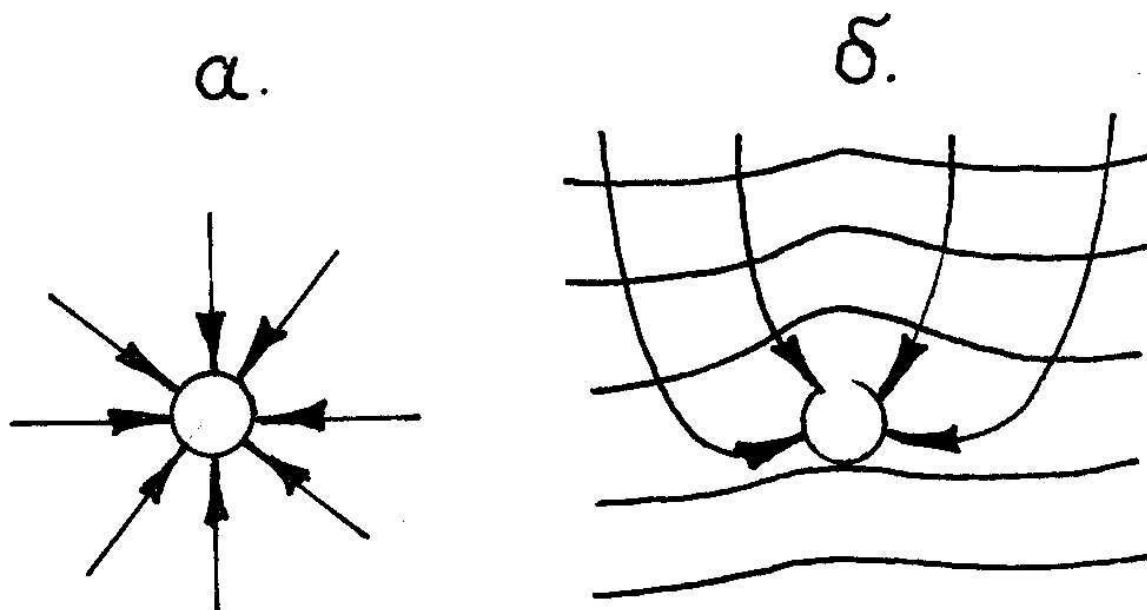


Перечисленные границы в случае достижения их депрессионными воронками оказывают большое влияние на условия эксплуатации водоносных горизонтов.

При схематизации природных условий для оценки эксплуатационных запасов подземных вод необходимо учитывать положение водозаборов относительно границ пласта, влияющих на работу водозабора.

По степени взаимоотношения водозабора, депрессионных воронок и границ пласта выделяют следующие основные **типовые гидродинамические схемы.**

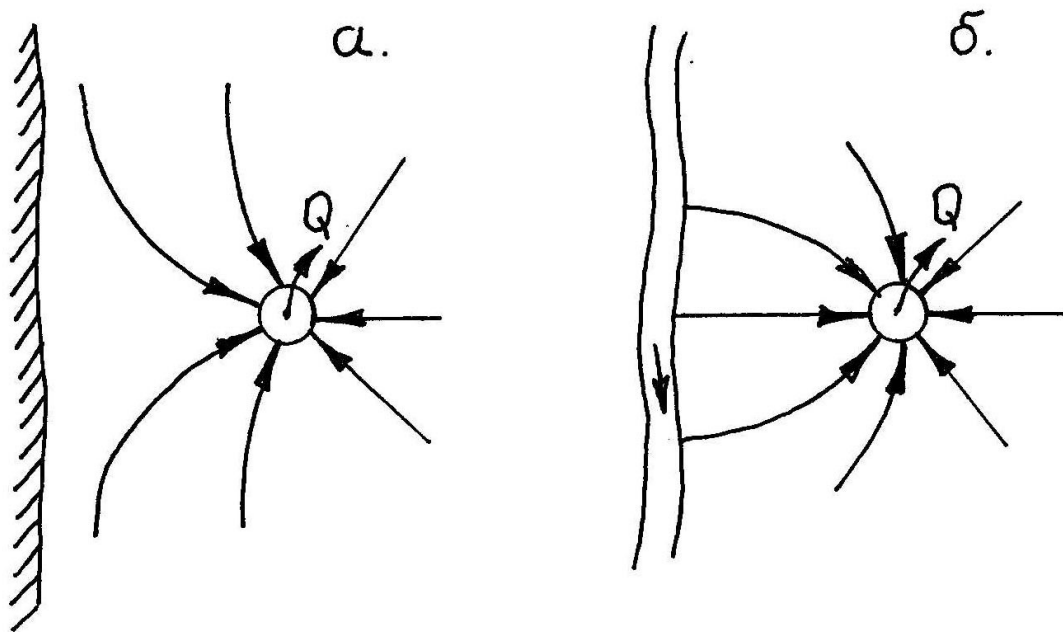
Неограниченный водоносный пласт. Его природные границы находятся за пределами влияния водозабора. Депрессионная воронка не достигает этой границы за период работы водозабора.



а - в грунтовом бассейне; б - в грунтовом потоке

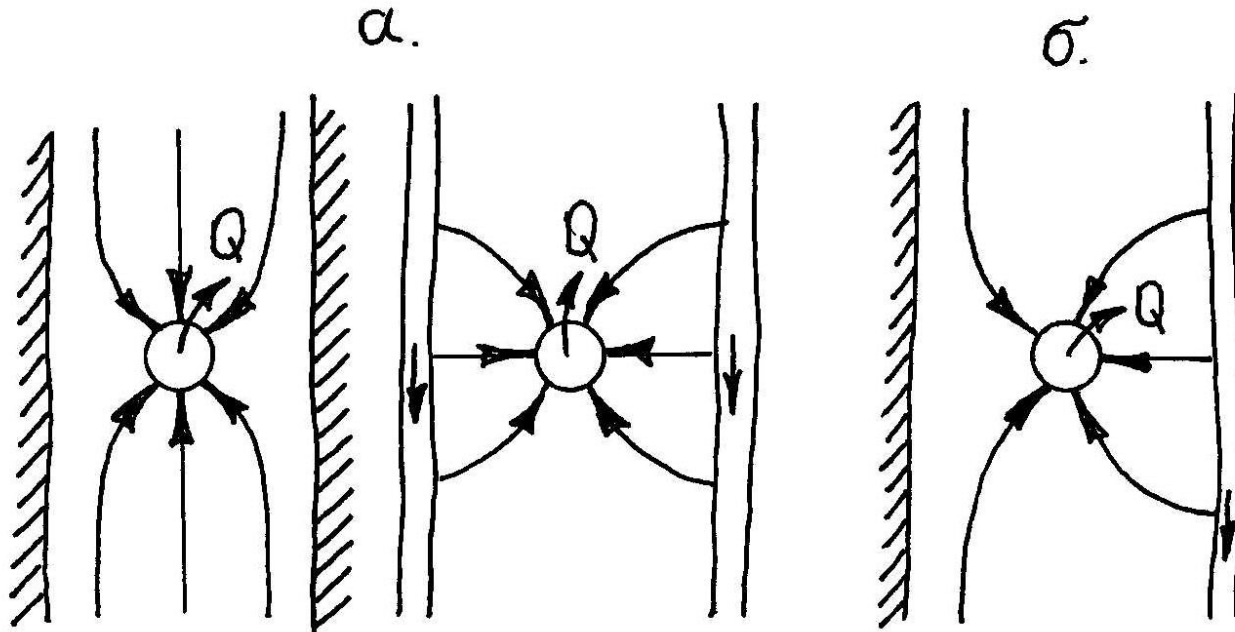
Полуограниченный водоносный пласт.

На режим работы водозабора оказывает влияние одна из границ.



а – $Q = \text{Const}$; б – $H = \text{Const}$

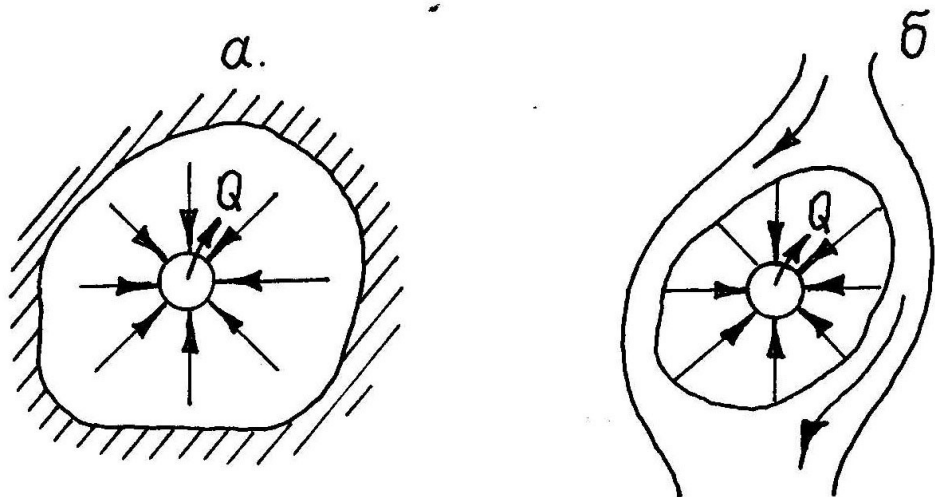
Водоносный пласт - полоса. На работу водозабора влияют параллельные границы, расстояние между которыми меньше величины депрессионной воронки.



а - с однородными границами; б - с разнородными страницами

Водоносный пласт, ограниченный круговым контуром.

Замкнутые границы оказывают влияние на работу водозабора
повсеместно



$a - Q = \text{Const}$; $б - H = \text{Const}$

Водозаборы подземных вод обычно состоят из нескольких скважин и при эксплуатации взаимодействуют друг с другом. Это взаимодействие сказывается на снижении уровня воды в каждой из скважин, так как понижение уровня воды в скважине (S) складывается из понижения при работе ее как одиночной (S_0) и суммы понижений, вызванных работой других скважин водозабора (ΔS) (срезки уровней).

$$S = S_0 + (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n).$$

Расчетные формулы, применяемые при гидродинамическом методе (расчет понижения уровня воды (S) на конец срока эксплуатации), учитывают баланс потока подземных вод, сработку и возобновление запасов при эксплуатации, время эксплуатации и т.д.

Расчетные формулы приводятся для различных гидродинамических схем и вариантов граничных условий. Выводы расчетных формул освещены в литературных источниках.

Значения символов и показателей в расчетных формулах:

S - расчетное понижение уровня в скважине;

Q - дебит скважины, для которой рассчитывается понижение;

$Q_1, \dots, Q_n$ - дебиты скважин, находящихся на расстоянии $\dots$, от скважины, в которой определяется понижение;

$Q_{\text{сум}}$ - суммарный дебит всех взаимодействующих скважин водозабора;

H - мощность безнапорного водоносного горизонта;

m - мощность напорного водоносного пласта;

R_n - приведенный радиус влияния;

r_o - радиус фильтра скважины, в которой определяется понижение;

K - коэффициент фильтрации пласта;

a - коэффициента пьезопроводности для напорных вод;

a_y - коэффициент уравнепроводности для безнапорных вод;

K_m - водопроводимость пласта;

t - время эксплуатации или откачки;

$r_1, \dots, r_n$ - расстояние от скважины, в которой рассчитывается понижение до влияющих на неё скважин

ρ - расстояние от зеркально отображенных скважин до скважины, в которой определяется понижение;

l - расстояние от скважины до границы пласта;

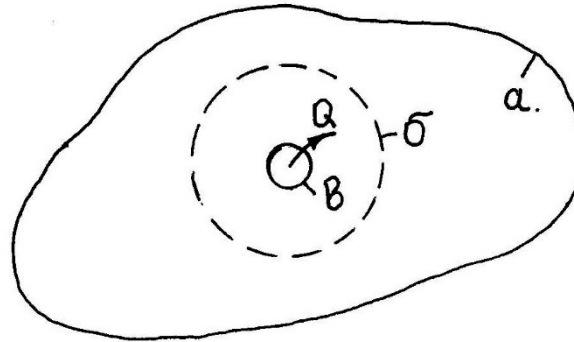
i - ширина междуречья;

λ - расстояние между скважинами в ряду водозабора;

B - ширина пласта-полосы;

R_k - радиус круга, приравненного по площади к водоносному пласту, ограниченному круговым контуром.

Неограниченный водоносный пласт. Депрессионная воронка, возникающая при работе водозабора, не распространяется до границ пласта.



Расчет понижения уровня в скважинах водозабора осуществляется по

следующим формулам:

- для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left[Q_{\text{н.о.}} \ln R_n - (Q \ln r_0 + Q_1 \ln r_1 + \dots + Q_n \ln r_n) \right]}$$

для напорных
вод

$$S = \frac{1}{2\pi km} \left[Q_{\text{н.о.}} \ln R_n - (Q \ln r_0 + Q_1 \ln r_1 + \dots + Q_n \ln r_n) \right]$$

Полуограниченный водоносный пласт. Депрессионная воронка достигает одну из границ пласта), при этом на границе меняется или напор или расход.

Если водоносный пласт ограничен поверхностным водоемом или водотоком, то напор на этой границе не меняется при эксплуатации. Это граница с постоянным напором $H = \text{Const}$.

Если границей являются водоупорные породы, то приток с её стороны постоянный и, зачастую, полностью отсутствует $Q = \text{Const}$.

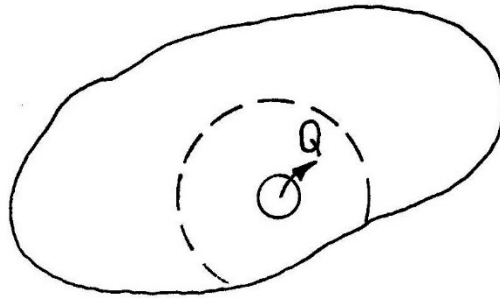
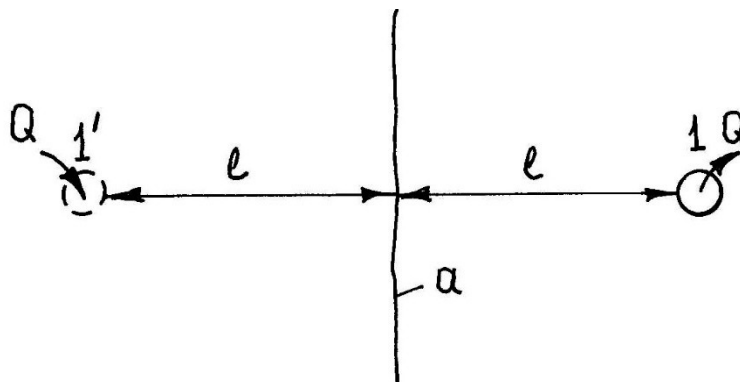
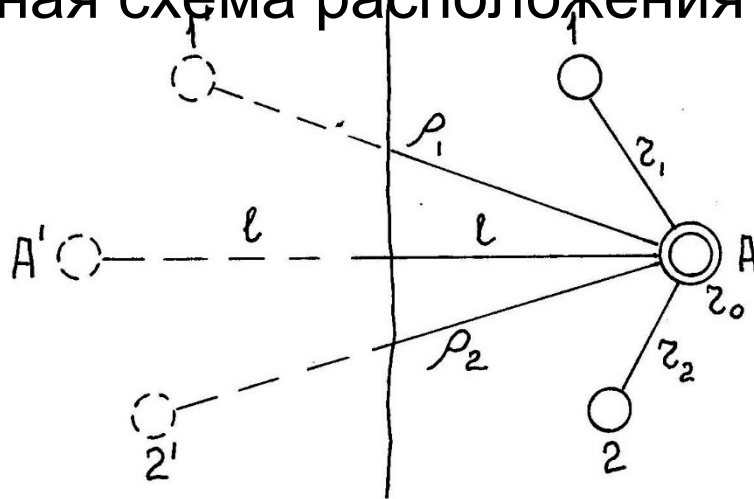


Схема к расчету «методом зеркальных отображений».



Расчетная схема расположения скважин



Границы с постоянным напором. Обычно это водозаборы, заложенные в речных долинах. Расположение скважин, зачастую, в ряд, параллельно урезу реки (инфильтрационный водозабор).

Расчетное уравнение для группы скважин в безнапорных водах:

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left(Q \ln \frac{2\ell}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n} \right)}$$

Понижение уровня в любой скважине водозабора, работающей в условиях напорного пласта, равно:

$$S = \frac{1}{2\pi km} \left(Q \ln \frac{2\ell}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_2 \ln \frac{\rho_2}{r_2} + \dots + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n} \right)$$

Граница с постоянным расходом. Наиболее часто встречающийся случай, когда расход на границе равен нулю.

При этом применяются следующие расчетные формулы:

для безнапорных вод

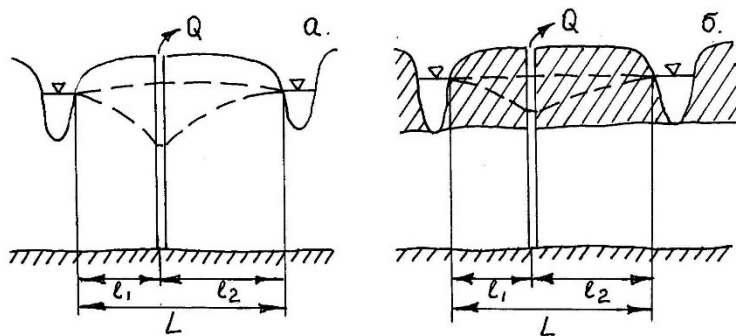
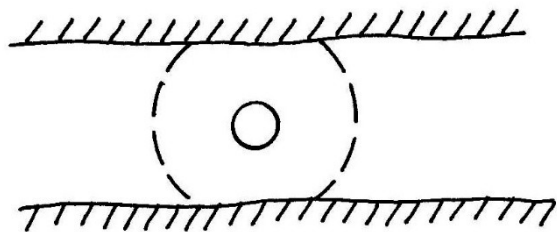
$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left[2Q_{\text{н\acute{o}i}} \ln R_n - (Q \ln 2r_0 \ell + Q_1 \ln r_1 \rho_1 + \dots + Q_n \ln r_n \rho_n) \right]}$$

для напорных
вод

$$S = \frac{1}{2\pi km} \left[2Q_{\text{н\acute{o}i}} \ln R_n - (Q \ln 2r_0 \ell + Q_1 \ln r_1 \rho_1 + \dots + Q_n \ln r_n \rho_n) \right]$$

Водоносный пласт-полоса. Водоносный пласт-полоса - это пласт, ограниченный в плане параллельными границами, находящимися в зоне влияния водозабора.

Границы могут быть с постоянным расходом, постоянным напором, а также могут быть разнородные границы.



а - безнапорные воды; б - напорные воды

Пласт-полоса с границами с постоянным напором. Примером таких гидрогеологических условий могут быть относительно неширокие междуречья, сложенные водопроницаемыми породами. Расчет понижения здесь осуществляется по формулам установившегося движения, т.к. откачка в скважинах сопровождается быстрой стабилизацией уровня.

Для водозабора, состоящего из нескольких скважин, расположенных в ряду с равными расстояниями и одинаковыми дебитами, параллельном долинам рек, понижение в скважинах водозабора будет:

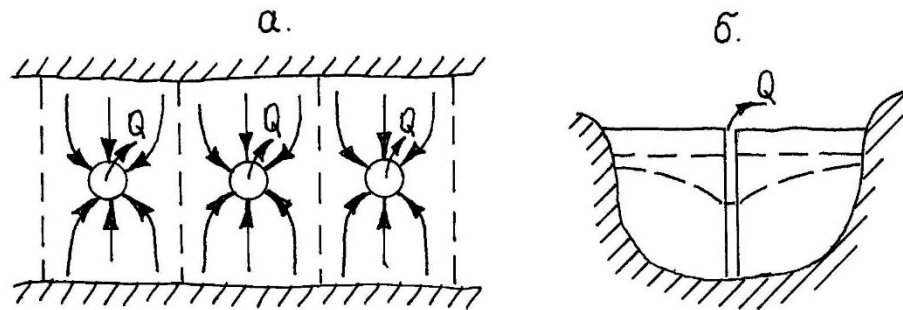
для безнапорных вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{2\pi \ell_1 \ell_2}{2\lambda} \right)}$$

для напорных
вод

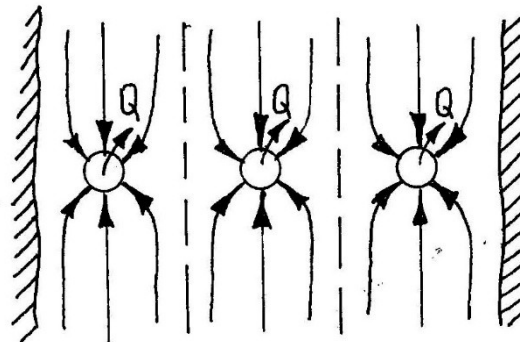
$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{2\pi \ell_1 \ell_2}{\lambda L} \right)$$

Пласт-полоса с постоянным расходом. Такими гидрогеологическими структурами являются погребенные долины. Если водозабор расположен в виде продольного ряда посередине полосы, то скважины будут сбрасывать естественные запасы **в замкнутом блоке, ограниченном непосредственными границами** и линиями, проходящими через середины расстояний между скважинами (предполагаемые «тонкие непроницаемые пласты»)



Пласт-полоса с границами с постоянным расходом

При расположении скважин водозабора **в виде поперечного ряда**, каждая из скважин действует как самостоятельная, работающая без взаимодействия в структуре, ограниченной линиями, проведенными через середины расстояний между скважинами (предполагаемые «тонкие непроницаемые пластины»). Для такого расположения скважин расчетные формулы сводятся к определению понижения в отдельной скважине водозабора:



для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi r_0} + \frac{3,55\sqrt{at}}{\lambda} \right)$$

для безнапорных

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \left(\ln \frac{\lambda}{2\pi k r_0} + \frac{3,55\sqrt{a_y t}}{\lambda} \right)}$$

Пласт-полоса с разнородными границами.

Обычно одна из границ $Q=0$, а другая $H=Const$, что характерно для подземных вод в речных террасах, сложенных песчаными отложениями и вложенными в водоупорные породы. Граница $H=Const$ оказывает активное влияние на работу водозабора и через непродолжительное время движения практически стабилизируется, что предполагает проведение расчетов понижения по формулам установившегося движения. Расчетные формулы:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \left[\frac{1,33B}{r_0} \operatorname{ctg} \frac{\pi(B - \ell)}{2B} \right]$$

для безнапорных
вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \left[\frac{1,33B}{r_0} \operatorname{ctg} \frac{\pi(B - \ell)}{2B} \right]}$$

Водоносный пласт, ограниченный круговым контуром.

При незначительных в плане размерах пласта на формирование депрессионной воронки, с течением времени эксплуатации, будут влиять все его границы. Реальный контур пласта заменяется на круговой контур с радиусом R_k , который определяется исходя из величины площади пласта F :

$$R_k = \sqrt{\frac{F}{A}} = 0,565\sqrt{F}$$

При границе с постоянным напором, т.е. в центре участка, **ограниченного круговым контуром питания (остров)**, понижение уровня воды устанавливается через короткое время. Понижение определяются по формулам:

для напорных вод
$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R_k}{r_0}$$

для безнапорных
вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R_k}{r_0}}$$

В случае, если **круговыми границами являются водоупорные отложения**, движение подземных вод имеет выраженный неустановившийся характер.

Для водозабора, расположенного в центре мульды, понижение определяется:

для напорных вод

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left[\ln \frac{R_k}{r_0} + \frac{2at}{R_{k^2}} - \frac{3}{4} \right]$$

для безнапорных
вод

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R_k}{r_0} + \frac{2a_y t}{R_{k^2}} - \frac{3}{4}}$$

Применение *гидравлического метода оценки эксплуатационных запасов* подземных вод обуславливается сложными гидрогеологическими условиями, не позволяющими построить достоверную фильтрационную схему для гидродинамического расчета. В этом случае производится опытное опробование водоносного горизонта для установления характера взаимосвязи между дебитами водозаборных скважин и понижениями уровней в них.

Подсчет эксплуатационных запасов месторождения может быть выполнен только для единственной системы расположения разведочно-эксплуатационных скважин, что позволяет с одной стороны учесть индивидуальные особенности каждой скважины, а с другой - обуславливает определённую консервативность гидравлического расчета.

Одиночные водозаборные скважины рассчитываются следующим образом:

$$S = S_0 + \Delta S_0(t)$$

где S - расчетное понижение уровня воды в скважине при проектном (эксплуатационном дебите Q , на конечный срок эксплуатации водозабора);
 S_0 - понижение уровня воды в расчетной скважине, определяемое по кривой зависимости дебита от понижения для заданного проектного расхода на момент окончания опытной откачки;
 $S_0(t)$ - дополнительное понижение уровня в скважине, работающей с эксплуатационным дебитом за время от окончания опытной откачки до конца срока, на который рассчитываются эксплуатационные запасы.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод **балансовым методом** заключается в определении расхода подземных вод, который может быть получен водозаборными сооружениями в пределах данного района в течение заданного срока эксплуатации за счет привлечения отдельных источников формирования.

В общем случае эксплуатационные запасы подземных вод связаны с другими видами запасов и ресурсов следующим балансовым уравнением:

$$Q_{\text{Э}} = \alpha_1 \cdot Q_E + \alpha_2 \frac{V_E}{t} + \alpha_3 Q_U + \alpha_4 \frac{V_U}{t} + Q \cdot p$$

, (7.76)

где $Q_{\text{Э}}$ - эксплуатационные запасы;

V_E - естественные запасы, т.е. объем гравитационной воды в порах, трещинах, карстовых пустотах водовмещающих пород. К естественным запасам безнапорных водоносных горизонтов относится и объем гравитационной воды в водовмещающих породах в зоне колебания уровня (регулируемые запасы V_p). В напорных пластах к естественным относятся упругие запасы (V_u) - объем воды, который может быть извлечен из водоносных пластов при снижении уровня подземных вод вследствие упругих свойств воды и породы;

Q_E - естественные ресурсы, т.е. величина питания водоносного горизонта в ненарушенных эксплуатацией условиях; они равны сумме всех природных элементов баланса данного горизонта (инфильтрация атмосферных осадков, фильтрация из рек и водоемов, перетекание со смежных горизонтов и т.д.) и могут быть также определены по расходу подземного потока или по сумме расходов элементов баланса (испарение, родниковый сток, перетекание в другие горизонты, фильтрация в реки и т.д.);

$Q_{\text{пр}}$ - привлекаемые ресурсы, т.е. расход воды, поступающей в водоносный пласт при усилении питания подземных вод, вызванного эксплуатацией водозаборного сооружения (возникновение или усиление фильтрации из рек, озер, перетекание из смежных горизонтов, усиление инфильтрационного питания);

V_U - искусственные запасы, т.е. объем подземных вод в пласте, сформировавшийся в результате проведения инженерно-геологических мероприятий, обеспечивших заполнение неводонасыщенных пород;

Q_U - искусственные ресурсы, т.е. расход воды, поступающей в водоносный горизонт при фильтрации из каналов и водохранилищ, на орошаемых площадях, а также при проведении мероприятий по усилению питания подземных вод;

t - время, на которое рассчитывается эксплуатация подземных вод;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - соответственно коэффициенты использования естественных ресурсов, естественных запасов, искусственных ресурсов и искусственных запасов.

Эксплуатационные запасы подземных вод по условиям освоения и хозяйственному и экологическому значению подразделяются на две группы – **балансовые** и **забалансовые**.

Балансовыми называются запасы подземных вод, целесообразность использования которых доказана результатами геолого-экономических, технологических и санитарно-гигиенических исследований. Возможность использования таких запасов подтверждается республиканскими и территориальными органами, согласовывающими и контролирующими вопросы природопользования. Основанием для отнесения запасов к балансовым являются установленная потребность в воде и соответствие их качества требованиям потребителя.

Забалансовыми называются запасы подземных вод, использование которых на период их оценки признано нецелесообразным. Причины нецелесообразности использования не связываются непосредственно с проектом водозабора и могут быть: технико-экономическими (невозможность отчуждения земель, изменения социально-экономической конъюнктуры и др.); технологическими (отсутствие рациональной технологии предварительной водоподготовки); экологические (природоохранные ограничения, необходимость регулирования поверхностного стока).

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в том случае, если доказана возможность их последующего вовлечения в эксплуатацию.

Основанием к категоризации эксплуатационных запасов подземных вод является степень изученности того или иного месторождения.

По этому признаку эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются на:

освоенные – категории А и В;
разведанные – категории В;
оцененные – категории C_1 и C_2 .

Прогнозные ресурсы подземных вод по степени обоснованности относятся к категории Р

Каждая категория является основой для выполнения определенных стадий проектных решений по подготовке месторождений к дальнейшему изучению и освоению.

При оценке степени освоения разведанных запасов подземных вод, составлении плана реконструкции водозабора, продлении права использования подземных вод на новый срок по данным эксплуатации предназначаются запасы А.

Запасы категории А должны удовлетворять следующим требованиям:

- должны быть подсчитаны по результатам эксплуатации при проведении эксплуатационной разведки (продолжительность наблюдений зависит от сложности гидрогеологических условий);
- дебит водозабора установлен по данным режимных наблюдений в эксплуатационных скважинах, а понижение – в эксплуатационных и наблюдательных;
- количество эксплуатационных запасов подтверждено фактическим водоотбором на действующем водозаборе;
- доказана возможность сохранения дебита водозабора на срок эксплуатации прогнозными расчетами, опирающимися на достоверную количественную оценку основных источников формирования эксплуатационных запасов;
- качество подземных вод удовлетворяет требованиям их целевого назначения, подтверждено режимом эксплуатации и уверенно прогнозируется на дальнейший срок эксплуатации;
- влияние водоотбора оцениваемого месторождения на существующие и разведанные водозаборы и поверхностные водные источники надежно установлено по опыту эксплуатации; влияние отбора подземных вод на окружающую природную среду оценено по результатам регулярных режимных наблюдений в степени, позволяющей установить эффективность действующих природоохранных мер, а также проектировать и осуществлять, при необходимости, дополнительные компенсирующие мероприятия.

На месторождениях 1-й и 2-й групп сложности запасы **категории А** подсчитываются при подтверждении возможности сохранения достаточного водоотбора и требуемого количества воды, на месторождениях же 3-й группы - при установившихся в процессе водоотбора гидродинамическом и гидрохимическом режимах.

Запасы категории В являются основанием для проектирования водозабора и оформления документов на право использования подземных вод.

При этом запасы должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны применительно к согласованным проектным схемам и конструкциям водозаборных сооружений, заданной потребности и графику водозабора;
- учтена существующая водохозяйственная обстановка, прогнозированы изменения ее, определены допустимые пределы влияния водоотбора на окружающую природную среду;
- принятые при подсчете эксплуатационных запасов подземных вод проектные дебиты скважин подтверждены результатами бурения и опытно-фильтрационных работ, таких как опытные одиночные, кустовые и групповые откачки, а в сложных гидрогеологических условиях опытно-эксплуатационные откачки и опытная эксплуатация;
- дана количественная оценка источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод применительно к принятой схеме эксплуатации и величине водоотбора;
- качество подземных вод изучено по всем показателям в соответствии с требованиями целевого назначения;
- доказано, что качество воды течение всего расчетного срока эксплуатации будет постоянным или будет изменяться в допустимых пределах;
- разработаны рекомендации по режиму эксплуатации водозабора, сооружению сети наблюдательных скважин;
- обоснованы мероприятия по созданию зон санитарной охраны;
- оценено влияние намечаемого водоотбора на период расчетного срока водопотребления на существующие и разведанные водозаборы и поверхности водных источников;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую природную среду и получены исходные данные для разработки проекта мероприятий по предотвращению или снижению уровня отрицательных экологических последствий.

Запасы **категории В** подсчитываются исключительно на разведанных месторождениях применительно к намеченной схеме водозабора, при этом для месторождений 1-й и 2-й групп сложности расчет осуществляется по прогнозной производительности намеченного водозабора при подтверждении возможности сохранения требуемого качества воды на расчетный срок эксплуатации. На месторождениях 3-й группы - по фактическому дебиту выработок, опробованных опытными или опытно-эксплуатационными откачками при подтверждении возможности получения достаточного дебита и требуемого качества воды на расчетный срок эксплуатации. В отдельных случаях в сложных гидрогеологических условиях запасы категории В оцениваются на освоенных месторождениях по фактическому отбору в том случае, если невозможно количественно оценить источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод, а отрицательное воздействие на окружающую природную среду при этом отсутствует.

Запасы категории C_1 применяются для обоснования целесообразности разведки месторождений подземных вод, а также разработки проекта на постановку разведочных работ. В ряде случаев запасы категории C_1 могут служить основанием для вовлечения месторождения подземных вод в эксплуатацию. Это, в первую очередь, месторождения в сложных гидрогеологических условиях, когда получение информации для перевода запасов в категорию В связано с большими и неоправданными затратами, а также, как правило, при изучении объектов с небольшой потребностью в воде .

Запасы категории C_1 должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны в пределах месторождения или его участков применительно к проектной схеме водозабора и заявленной потребности в воде;
- достоверность принятых при подсчете запасов расчетных дебитов обоснована по данным бурения отдельных скважин и опробования их кратковременными пробными и опытными откачками, в зависимости от сложности уровня;
- источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод изучены приблизительно в степени, позволяющей оценить обеспеченность отбора подземных вод применительно к принятой условной схеме водозабора;
- качество подземных вод и его изменения в течение расчетного срока водопотребления изучены в степени, обосновывающей возможность их использования по целевому назначению;
- условия водоотбора и его влияние на окружающую природную среду, подземные и поверхностные водоисточники изучены в степени, достаточной для обоснования возможности и геолого-экономической целесообразности эксплуатации подземных вод, а также для определения принципиальных направлений природоохранных мероприятий.

Запасы категории C_1 подсчитываются по месторождениям 1-й и 2-й группы сложности по расчетной производительности проектных водозаборов на основании фактического опробования отдельных разведочных выработок; при сложных гидрогеологических условиях (месторождениях 3-й группы) – по фактическому дебиту выработок, опробованных опытными или опытно-эксплуатационными откачками в пределах приближенно установленной величины обеспеченности эксплуатационных запасов.

Основанием для подсчета запасов по категории C_2 являются результаты поисковых работ или по аналогии с более изученным месторождением.

Запасы по категории C_2 могут также быть подсчитаны на оцененных и разведанных месторождениях дополнительно к запасам более высоких категорий, на месторождениях, изученных в процессе поисково-оценочных и разведочных работ. Также расчеты дают возможность оценить эксплуатационные возможности месторождения подземных вод.

Запасы категории C_2 должны удовлетворять следующим требованиям:

- подсчитаны по всей площади месторождения подземных вод применительно к условным обобщенным схемам эксплуатации по их расчетной производительности и в пределах общего баланса подземных вод;
- подсчитаны по аналогии гидрогеологических с более полным изученными площадями;
- подсчитаны по экстраполяции к запасам более высоких категорий в пределах общей величины обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод;
- рассчитанные дебиты скважин обоснованы результатами опробования единичных поисковых и картировочных скважин;
- условия формирования запасов изучены в степени, обеспечивающей оценку потенциальных возможностей водоотбора в пределах изучаемого месторождения;
- качество подземных вод изучено по единичным пробам и отвечает требованиям их целевого назначения;
- условия водоотбора изучены в степени, обеспечивающей возможность ориентировочной геолого-экологической оценки последствий эксплуатации и экономической эффективности использования подземных вод.

Прогнозные ресурсы категории Р — количество подземных вод определенного качества и целевого назначения, которое может быть получено в границах оцениваемого продуктивного горизонта, перспективного для дальнейшего хозяйственного использования, и характеризует потенциальные возможности использования подземных вод, в том числе применительно к существующей проектной или условной схемам расположения водопотребителей.

Прогнозные ресурсы являются основой для постановки поисковых и разведочных работ на территориях, перспективных для выявления месторождений подземных вод, а также для составления схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, оценке водохозяйственных балансов.

Прогнозные ресурсы оцениваются по результатам региональных геолого-гидрогеологических, гидрологических, водно-балансовых, гидрохимических и геофизических исследований на основе общих теоретических представлений об условиях формирования подземных вод.