

- **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ**

Потенциальные источники загрязнения

Зона захвата

Предельное возможное загрязнение

Критическое время

Завершение прогноза качества

**САНИТАРНАЯ ОХРАНА ВОДОЗАБОРОВ**

**РАСЧЁТЫ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ**

- **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДООТБОРА НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ**

- **ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Под качеством воды понимается совокупность её потребительских свойств, определяющих возможность использования воды по заявленному назначению (питьевая, техническая, лечебная минеральная и т.д.). Напомним, что к эксплуатационным запасам могут быть отнесены только те количества подземных вод, для которых доказано (на основе разведочных данных и прогнозных расчётов) сохранение показателей качества в пределах нормативных требований на весь расчётный срок эксплуатации водозабора.

Специалист-гидрогеолог, выполняющий поисково-разведочные работы, должен полностью владеть системой нормативных документов и требований к качеству воды, действующих на момент производства работ.

Контроль кондиционности воды осуществляется по трём группам показателей:

- органолептические свойства (непосредственно воздействующие на органы чувств человека – запах, вкус, температура),
- химический состав (общая минерализация, отдельные макро- и микрокомпоненты),
- бактериальная заражённость.

В ряде регионов в силу объективных природных условий используемые для водоснабжения подземные воды уже **в исходном состоянии** имеют отклонения по содержанию железа, марганца, фтора, стронция, бария, бора и др. В таких случаях при утверждении величины эксплуатационных запасов предусматривается выполнение специальных мероприятий по водоподготовке на весь период эксплуатации водозаборного сооружения.

Ещё более серьёзной проблемой, требующей прогнозного решения, является возможность изменения исходных показателей качества воды **при эксплуатации водозабора** в течение расчётного срока. Факторы, обуславливающие возможность изменения качества во времени:

- *естественные* – пространственная неоднородность химического состава природных вод, что создаёт возможность постепенного подтягивания к водозабору некондиционных вод: 1) по эксплуатируемому водоносному горизонту из удалённых частей области влияния водозабора, 2) из поверхностных водоисточников, 3) из смежных горизонтов.
- *искусственные*, к которым относятся техногенные загрязнения самого разного происхождения.

Очевидно, что естественные факторы являются неустранимыми; по отношению к техногенным источникам загрязнения при проектировании и строительстве водозабора могут быть предприняты меры по их ограничению или ликвидации.

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРОВ

При решении проблемы прогнозирования возможных изменений качества воды при работе водозабора целесообразно выделить несколько последовательных этапов.

1. Выявление **ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ** (на начальных стадиях поисково-разведочных работ) – анализируется естественная и техногенная гидрогеохимическая ситуация в некоторой предполагаемой области влияния будущего водозабора. С этой целью выполняются специализированные съёмочные работы, обследование объектов, потенциально опасных в отношении техногенного и бытового загрязнения подземных вод: промплощадок, сельхозугодий, горнопромышленных производств, предприятий ТЭК, полигонов ТБО, систем водоотведения населённых пунктов и т.п. Эти работы сопровождаются достаточным по объёму комплексом химического опробования общего и специального назначения (в зависимости от ожидаемого состава загрязнений).

2. Если такие источники установлены, то (после предварительного выбора места и конструкции водозабора) необходимо оценить **ВОЗМОЖНОСТЬ ПОПАДАНИЯ** некондиционных вод в водозахватные устройства. Для этого необходимо обосновать зону захвата водозабора, под которой понимается та часть области эксплуатационной депрессии напоров, в пределах которой все линии тока приходят в водозабор. Границей зоны захвата является *нейтральная линия тока* (НЛТ). Зона захвата может быть построена аналитически (в простых гидрогеодинамических схемах) или по результатам моделирования. Основой для её построения служит *гидродинамическая сетка* потока при работе водозабора.

Для построения сетки потока при работе водозабора можно использовать два пути:

а) решать прогнозную задачу работы водозабора в напорах (тогда проблем нет – строятся изолинии напоров по результатам модельного решения и отрисовывается необходимое количество линий тока с учётом свойств гидродинамических сеток);

б) или решать прогнозную задачу в понижениях (это заметно проще), но затем полученную на модели воронку понижений надо вычесть из карты естественных



гидроизогипс (изопьез) и по полученной карте нарушенных напоров отрисовать прогнозную гидродинамическую сетку.

Пример аналитического построения зоны захвата: одиночная скважина (или компактный водозабор) с производительностью  $Q$  в естественном потоке с градиентом  $I_e$  и удельным (единичным) расходом  $q = TI_e$ . Уравнение нейтральной линии тока (положение прямоугольных координат  $x, y$  на рис. 6.1):

$$x = -\frac{y}{\operatorname{tg} \frac{2\pi q y}{Q}}.$$

Характерные точки на нейтральной линии тока:

- «водораздельная» точка **A**:  $y_0 = 0$ ;  $x_0 = -\frac{Q}{2\pi q}$
- точка **B**:  $x_B = 0$ ;  $y_B = \frac{Q}{4q}$
- Асимптота нейтральной линии (полуширина зоны захвата на бесконечности, при  $x \rightarrow \infty$ ): поскольку на бесконечности можно считать сохраняющимся естественный градиент  $I_e$ , то  $Q = 2y_\infty q$ , откуда  $y_\infty = \frac{Q}{2q}$ .

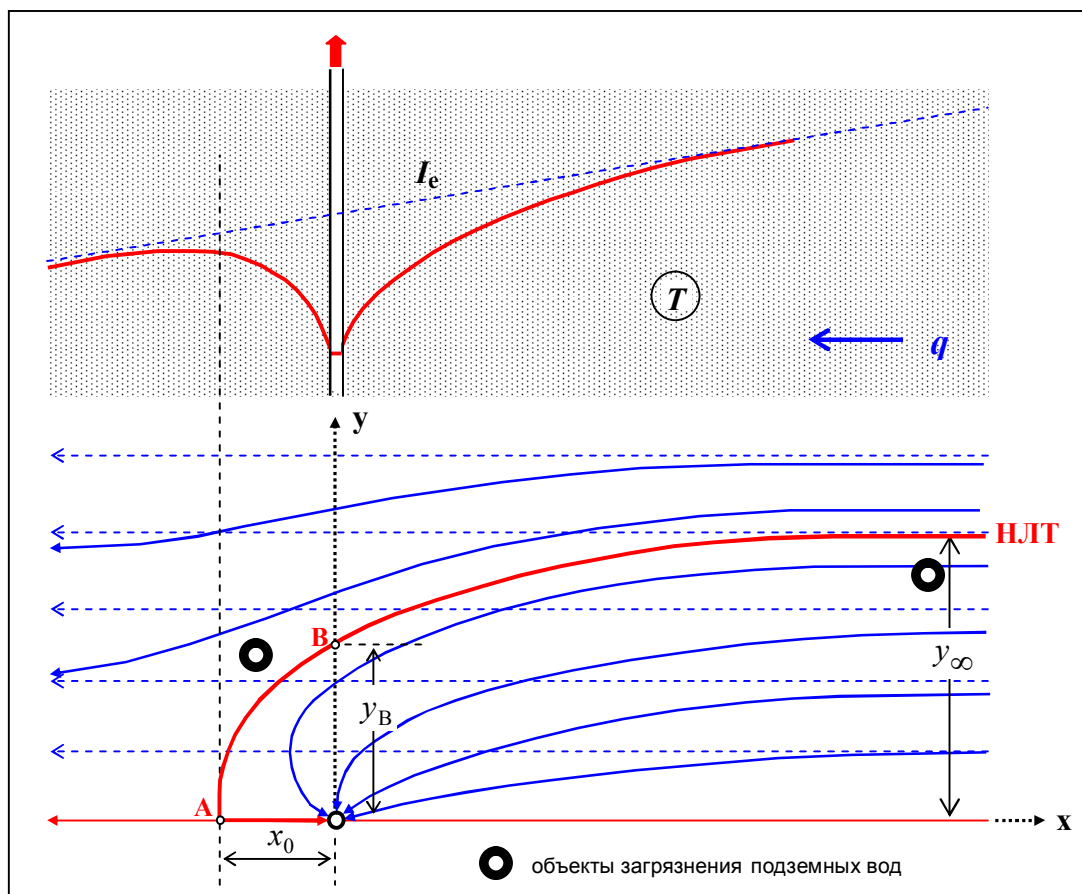


Рис. 6.1. Зона захвата водозаборной скважины в транзитном естественном потоке линейной структуры

3. Если в выделенную зону захвата водозабора попадает какой-либо из выявленных потенциальных источников загрязнения с концентрацией  $C_r$  (содержание любого нормируемого показателя качества), то целесообразно вначале оценить **ПРЕДЕЛЬНОЕ ВОЗМОЖНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ**, то есть качество воды в наихудшем варианте, при полном попадании загрязнения в водозабор.

Принцип расчёта – механическое смешение, что не всегда правомерно, так как в зависимости от состава загрязнения возможно химическое взаимодействие с пластовой водой и водовмещающими породами.

На сетке движения выделяется лента тока, по которой загрязнение будет перемещаться к водозабору (рис. 6.2), и для неё рассчитывается расход поступления загрязнённой воды в водозабор  $Q_r$ .

Солевой баланс для воды, извлекаемой водозабором:

$$C_3 Q_3 = C_r Q_r + C_e (Q_3 - Q_r) = C_e Q_3 + Q_r (C_r - C_e)$$

$$\text{или } C_3 = C_e + \bar{Q}_r (C_r - C_e), \text{ где } \bar{Q}_r = \frac{Q_r}{Q_3}.$$

Возможно, при таком расчёте окажется, что даже в предельном случае результирующая концентрация компонента загрязнения на водозаборе  $C_3$  окажется заметно меньше ПДК, то есть потенциально это загрязнение не опасно.

Естественно, что это лишь один из вариантов расчёта, предполагающий, что источник загрязнения сохраняет свою интенсивность на протяжении всего срока эксплуатации, что вовсе необязательно.

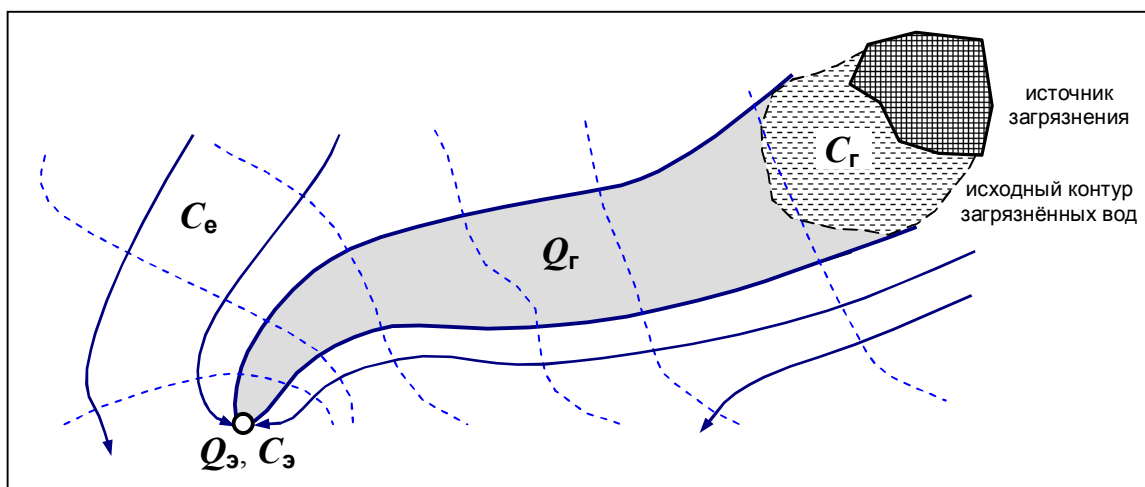


Рис. 6.2. Схема к расчёту предельного загрязнения

4. Однако, даже если окажется, что загрязнение угрожает водозабору ( $C_3 > \text{ПДК}$ ), следует рассчитать **КРИТИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ** – время подтягивания загрязнения к водозабору  $t_{\text{кр}}$ . Понятно, что это имеет смысл, если определён конечный расчётный срок эксплуатации. Для коммунальных водозаборов нередко предполагается неограниченный срок эксплуатации – тогда загрязнение рано или поздно, но обязательно попадёт в водозабор. Однако, даже и в этой ситуации расчёт критического времени следует сделать – хотя бы для понимания перспективы и выработки альтернативных решений по защите водозабора.

Возможные подходы к расчёту критического времени поступления загрязнения в водозабор:

а) Упрощённое представление о переносе загрязнения в потоке – «поршневое вытеснение»:

$$t_{\text{кр}} = \frac{L_0}{u^*} = \frac{L_0 n^*}{KI},$$

где  $L_0$  – исходное расстояние (по кратчайшей линии тока) до контура загрязнённых вод;

$u^* = \frac{v}{n^*} = \frac{KI}{n^*}$  – *действительная* скорость перемещения фронта загрязнения;  $v$  – соответствующая скорость фильтрации;  $n^*$ ,  $K$  – эффективная пористость и коэффициент фильтрации водовмещающих пород;  $I$  – градиент напора в загрязнённой ленте тока.

При существенной неоднородности по  $K$ ,  $I$ ,  $n^*$  (в пределах загрязнённой ленты тока) расчёт следует выполнять дискретно, по шагам  $\Delta l$ , границы которых совмещаются с контурами зон неоднородности.

б) Почему вариант (а) упрощённый? На самом деле фронт движения загрязнения в потоке «размазан» за счёт процессов всякого рода дисперсии. Поэтому реально загрязнение водозабора начнётся раньше, чем рассчитанное по схеме поршневого вытеснения, но и полное загрязнение наступит позже, чем  $t_{\text{кр}}$  (рис. 6.3).

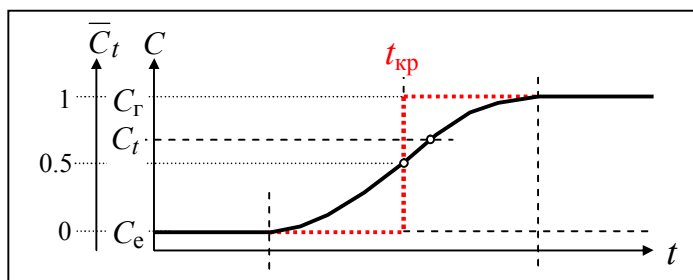


Рис.6.3. Характер поступления загрязнения в водозабор

Следовательно, для любого момента времени правильно будет записать концентрацию на водозаборе так:

$$C_з = C_e + \bar{Q}_Г (C_t - C_e),$$

где  $C_t$  – текущее (на момент  $t$ ) значение концентрации воды в «грязной ленте» на стенке водозаборной скважины.

Используем понятие «относительной концентрации»:

$$\bar{C}_t = \frac{C_t - C_e}{C_Г - C_e},$$

тогда  $C_t = C_e + \bar{C}_t (C_Г - C_e)$  и  $C_з = C_e + \bar{Q}_Г \bar{C}_t (C_Г - C_e)$ .

Соответственно при  $\bar{C}_t = 0 \rightarrow C_з = C_e$  (загрязнение ещё не подошло к водозабору),

при  $\bar{C}_t = 1 \rightarrow C_з = C_e + \bar{Q}_Г (C_Г - C_e)$  (предельное загрязнение).

Таким образом, задача прогнозирования реального режима загрязнения во времени состоит в вычислении  $C_t(t)$ . Это делается либо аналитически (на основе подходящей миграционной схемы), либо – для реальных структур потоков – моделированием миграции численными методами с использованием уравнений конвективно-диффузионного переноса.

Проблема таких прогнозов чрезвычайно сложна; достоверность их невысока – прежде всего, из-за методических и материально-технических сложностей полевых оценок параметров массопереноса. Обозначим лишь самые общие и упрощённые представления, минимально необходимые для правильного восприятия проблемы прогнозирования качества подземных вод при эксплуатации водозаборов.

Эффективная пористость  $n^*$  – расчётный (формальный) параметр ёмкости, учитывающий не только физическую ёмкость пустотного пространства водовмещающей породы (активную пористость  $n_0$ ), но и физико-химические процессы, протекающие на границе раздела фаз (сорбция–десорбция, химические реакции, катионный обмен...). Этот параметр характеризует *суммарную поглотительную способность* водовмещающих пород при переносе вещества в потоке подземных вод. Водовмещающие породы выполняют роль своеобразного фильтра, изымающего вещество из раствора, тогда как растворитель продолжает двигаться дальше. За счёт этого при данной скорости фильтрации истинные скорости движения чистой воды и растворённого в ней вещества оказываются различными:

$$u_{\text{воды}} = \frac{v}{n_0}; \quad u_{\text{вещества}} = \frac{v}{n^*}.$$

Для каждого компонента загрязнения или их соединений следует оценивать «свое» значение эффективной пористости, учитывающее их способность к сорбции, химическому взаимодействию с породами:

$$n^* = n_0 + K^*,$$

где  $K^*$  - коэффициент распределения.

В диапазоне небольших концентраций можно принимать  $K^* = \frac{N}{C}$ , где  $C$  – концентрация компонента в жидкой фазе (в «грязном» растворе),  $N$  – то же для породы (сорбционная ёмкость) при равновесном состоянии системы. Чем больше  $N$ , тем больше  $K^*$  и соответственно – тем больше  $n^*$ , то есть этот компонент «охотно» поглощается породой в той или иной форме.

В силу формального характера  $n^*$  может быть больше 1. Мощные сорбенты – тонкодисперсные породы (глины, опоки, диатомиты) за счёт высокой удельной поверхности.

Коэффициент дисперсии  $D$  – количественный параметр, характеризующий степень «размазывания» переходной зоны на фронте миграционного потока. Величина его зависит от природы процессов, вызывающих дисперсию:

- *молекулярная диффузия* – «слабый» процесс (характерный размер – см),
- *микродисперсия* – неоднородность поля скоростей в разрезе одной поры и между порами (пустотами) разного размера («средний» процесс – м),
- *макродисперсия* – неоднородность поля скоростей за счёт неоднородности породы и пласта в разрезе и в плане (блоки, пропластки.) – основной процесс, создающий фронт дисперсии в десятки-сотни метров и более.

**5. ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА:** если по этапам прогноза получены неблагоприятные ответы, то нужно либо «закрывать» месторождение (нет эксплуатационных запасов!), либо проектировать какие-то защитные меры:

1. *Перемещение водозаборного участка* – этим достигается увеличение длины пути  $L_0$  (с соответствующим возрастанием  $t_{\text{кр}}$ ) или изменение конфигурации зоны захвата.

2. *Уменьшение проектной производительности водозабора* (то есть уменьшение эксплуатационных запасов!), чтобы уменьшить скорости и соответственно –  $t_{\text{кр}}$ .

3. Организация гидрогеодинамической защиты. На рис. 6.4 показаны два принципиальных варианта:

а) Создание технического водозабора с дебитом  $Q^-$ , перехватывающего некондиционные воды на пути их движения к основному водозабору. Недостатки использования такого приёма: во-первых, уменьшаются ЭЗ для основного водозабора (при том же дебите понижения в нём будут больше), во-вторых, необходимо организовать систему утилизации откачиваемой некондиционной воды.

б) Организация технической закачки с дебитом  $Q^+$ , создающей гидрогеодинамический барраж, препятствующий движению некондиционных вод к основному водозабору. Основной проблемой в этом случае является обеспечение необходимого количества и качества технической воды, используемой для закачки.

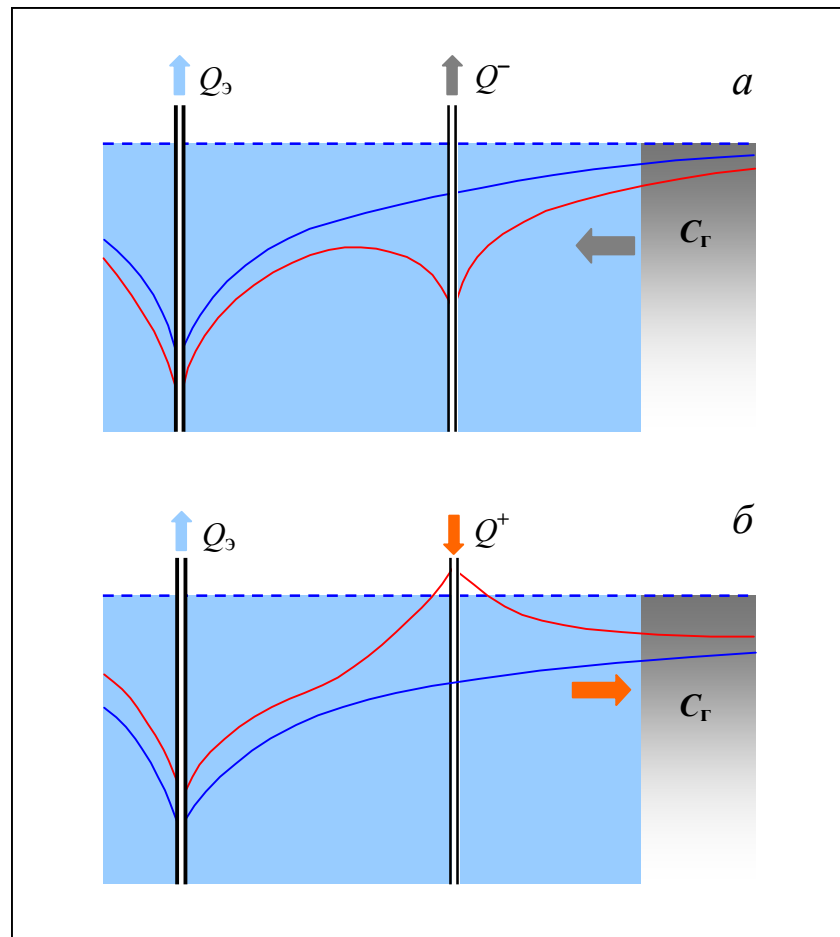


Рис. 6.4. Варианты гидрогеодинамической защиты водозаборов

## САНИТАРНАЯ ОХРАНА ВОДОЗАБОРОВ

Это – важнейший аспект сохранения качества воды при длительной эксплуатации водозаборов. Принципы и система санитарной охраны водозаборов регулируется государственными нормативно-методическими документами.

Цель санитарно-охранных мероприятий, проводящихся как до начала, так и в процессе эксплуатации:

- ограничение или ликвидация имеющихся потенциальных источников загрязнений;
- устранение возможности возникновения новых источников загрязнений.

Состав этих мероприятий формируется при утверждении ЭЗ месторождения и может включать:

- а) ликвидация дефектных и бездействующих скважин и горных выработок,
- б) контроль (через механизм лицензирования) всех вновь намечаемых видов разведки и эксплуатации недр (горные разработки, захоронение стоков через скважины),
- в) контроль технологии всех действующих промышленных предприятий (утечки из технологических коммуникаций и ёмкостей, аварийные сбросы, захоронение промстоков и пр.); контроль агротехнологий (минеральные и органические удобрения, пестициды), контроль лесоохранных мероприятий (ядохимикаты),
- г) запрет строительства промышленных испарителей, отстойников, хвосто- и шламохранилищ, гидрозолоотвалов,
- д) упорядочение водоснабжения и водоотведения (канализации) населённых пунктов, в отдельных случаях – ликвидация населённых пунктов,
- е) ограничение создания новых населённых пунктов, сельхозферм,
- ж) ликвидация старых и запрет на создание новых захоронений (кладбищ, скотомогильников),

и многое другое в соответствии с местными условиями и особенностями.

Эти мероприятия локализуются в так называемой зоне санитарной охраны (ЗСО). Её размеры и положение на местности утверждаются одновременно с подсчётом ЭЗ и расчётом качества воды.

ЗСО делится на пояса.

- 1-й пояс *строгого режима* (внутренний): 30-50 м вокруг станций 1-го подъёма – для предотвращения случайного или умышленного загрязнения непосредственно через водозахватные устройства. Эта территория охраняется; внутри пояса строгого режима

часто создаётся искусственное покрытие (гравийно-галечное, асфальт). Гидрогеологическое обоснование границы этого пояса практически не требуется.

- Размеры 2-го и 3-го поясов определяются гидрогеодинамическим и миграционным расчётом. Их назначение:

2-й пояс – охрана от *бактериальных* (микробных) загрязнений,

3-й пояс – охрана от *химических* загрязнений.

Основной принцип расчёта размеров 2-го и 3-го поясов: граница каждого пояса – это **ИЗОХРОНА**, то есть совокупность точек, из которых загрязнение достигает водозабора через заданный расчётный промежуток времени.

Различие 2-го и 3-го поясов – как раз в величине этого расчётного промежутка времени.

2-й пояс рассчитывается по срокам сохранения активности болезнетворных бактерий в подземных водах: для расчётного времени от 100-200 суток (защищённые межпластовые подземные воды, не имеющие непосредственной гидравлической связи с открытым водоёмом) до 400 суток (подземные воды, недостаточно защищённые или имеющие непосредственную связь с открытым водоёмом). При этом учитывается также климатический район расположения водозабора.

3-й пояс: для миграции химических загрязнителей принимается полный расчётный срок эксплуатации, обычно  $10^4$  суток.

Для грунтовых водоносных горизонтов из этих нормативных величин расчётного времени следует вычесть время  $t_{\Pi}$ , необходимое для продвижения загрязнения через зону аэрации мощностью  $m_{\Pi}$  с коэффициентом фильтрации  $K_{\Pi}$  и активной (эффективной) пористостью  $n_{\Pi}$ :

а) при незначительных величинах инфильтрации (естественная инфильтрация,  $W < K_{\Pi}$ ):

$$t_{\Pi} \approx \frac{m_{\Pi} n_{\Pi}}{\sqrt[3]{W^2 K_{\Pi}}};$$

б) при просачивании с полным насыщением пор (интенсивная инфильтрация, утечки и т.п.,  $W > K_{\Pi}$ ):

$$t_{\Pi} \approx \frac{m_{\Pi} n_{\Pi}}{K_{\Pi}}.$$

К примеру, при величине естественной инфильтрации  $W = 50$  мм/год  $\approx 1.4 \cdot 10^{-4}$  м/сутки (Подмосковье) время движения через супесчано-суглинистую зону аэрации мощностью 5



м ( $K_{\Pi} = 0.05$  м/сутки,  $n_{\Pi} = 0.03$ ) составит около 150 суток, что позволяет весьма заметно сократить размер «антибактериального» пояса. Однако, при интенсивной инфильтрации это время становится практически ничтожным.

При проектировании ЗСО для межпластовых водоносных горизонтов учитывается время миграции загрязнения через перекрывающие разделяющие слои (например, из вышележащего грунтового горизонта):

$$t_0 = \frac{m_0}{u_0} = \frac{m_0 n_0^*}{v_0} = \frac{m_0 n_0^*}{K_0 I_0} = \frac{m_0^2 n_0^*}{K_0 \Delta H},$$

где  $\Delta H$  - разность напоров между горизонтами.

Это время может быть настолько значительным, что позволяет считать межпластовый горизонт защищённым от загрязнения с поверхности земли в течение расчётного срока его эксплуатации.

## РАСЧЁТЫ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Для расчёта положения границ поясов могут быть использованы аналитические методы (как правило, для небольших водозаборов с ограниченной зоной влияния). Расчётные зависимости разработаны для типовых фильтрационных схем месторождений подземных вод с учётом существования естественного потока того или иного направления, наличия покровных отложений и т.п.

Некоторые зависимости для типовых фильтрационных схем приводятся ниже, при характеристике месторождений подземных вод. Здесь покажем лишь общие принципы расчётов ЗСО на примере изолированного неограниченного пласта:

1. При отсутствии естественного потока ЗСО будет иметь форму круга (рис. 6.5). Его радиус можно оценить из условия, что в соответствующем цилиндрическом элементе пласта должен содержаться полный объём воды, извлекаемой водозабором за расчётный промежуток времени  $t$ :  $V = Q_3 t$ . С другой стороны, необходимый объём активной пустотности водовмещающих пород в этом элементе пласта должен составлять  $V = \pi R^2 m n_0$ . Соответственно искомый радиус цилиндрического элемента  $R = \sqrt{Q_3 t / \pi m n_0}$ .

Например, при  $Q_3 = 10\,000$  м<sup>3</sup>/сутки,  $m = 20$  м,  $n_0 = 0.1$ :

- для 2-го пояса:  $t = 200 \div 400$  суток     $R = 560 \div 800$  м;
- для 3-го пояса:  $t = 10^4$  суток     $R = 4000$  м.

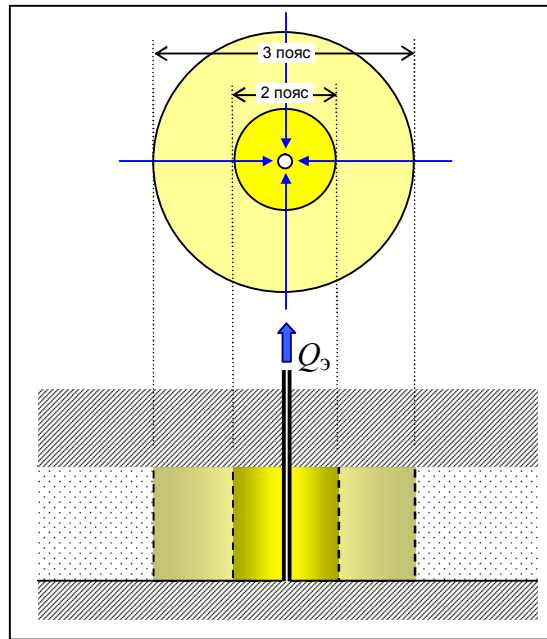


Рис. 6.5. Конфигурация ЗСО при отсутствии естественного потока

2. Понятно, что при наличии потока ЗСО приобретает эллипсовидную форму. Вверх по потоку размер ЗСО будет больше, так как здесь складываются градиент естественного потока и градиент депрессионной воронки. Реально ЗСО на местности назначается в виде прямоугольника (рис. 6.6) и для каждого пояса должны быть отдельно рассчитаны три геометрических размера ЗСО:

- Полуширина ЗСО вверх по потоку  $d$  : теоретически «на бесконечности» (практически уже на расстоянии порядка  $3 \div 4 x_0$ , рис. 6.1) она равна полуширине зоны захвата  $y_\infty$ , то есть  $d_{\max} = \frac{Q_3}{2q_e}$  (здесь  $q_e$  – погонный (единичный) расход естественного потока).

Для конкретного времени вычисляется по зависимости

$$d = \bar{d}x_0, \\ x_0 = \frac{Q_3}{2\pi q_e}, \quad (6.1)$$

где  $\bar{d}$  определяется из уравнения  $\bar{t} = 1 - \bar{d} \operatorname{ctg} \bar{d} - \ln \frac{\sin \bar{d}}{\bar{d}}$  при  $\bar{t} = \frac{q_e t}{m n_0 x_0}$ .

- Размер пояса ЗСО вверх по потоку  $R_2$  вычисляется из уравнения

$$\bar{t} = \frac{R_2}{x_0} - \ln \left( 1 + \frac{R_2}{x_0} \right). \quad (6.2)$$

- Размер вниз по потоку  $R_1$  вычисляется из уравнения

$$\bar{t} = - \left[ \ln \left( 1 - \frac{R_1}{x_0} \right) + \frac{R_1}{x_0} \right], \quad 0 < \frac{R_1}{x_0} < 1. \quad (6.3)$$

Дополним исходные данные:  $q_e = 1$  м<sup>2</sup>/сутки (как вариант – такой расход отвечает проводимости пласта 200 м<sup>2</sup>/сутки при уклоне 0.005). Соответственно получим такие размеры:

- для 2-го пояса:  $t = 400$  суток  $R_1 = 670$  м,  $R_2 = 940$  м,  $2d = 1580$  м
- для 3-го пояса:  $t = 10^4$  суток  $R_1 = 1560$  м,  $R_2 = 7800$  м,  $2d = 3400$  м.

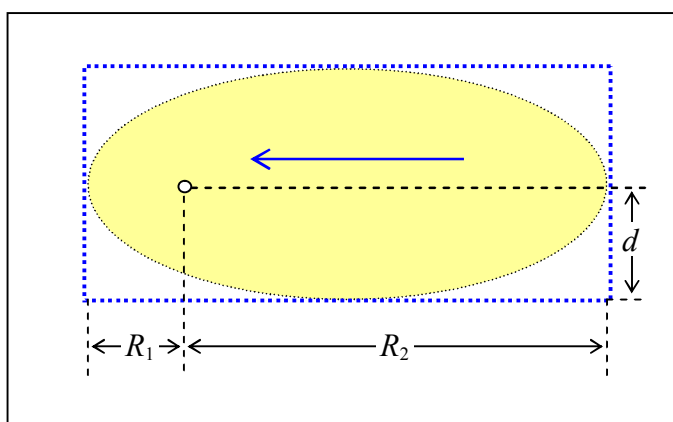


Рис. 6.6. Конфигурация ЗСО при наличии естественного потока

Многие из приведенных выше зависимостей представляют собой трансцендентные алгебраические уравнения. В литературе приводятся номограммы, которые несколько облегчают расчёты, но чаще всего не обеспечивают должной точности вычислений. Поэтому для решения таких уравнений целесообразно использовать численные методы, которые достаточно хорошо разработаны и легко программируются даже при минимальных практических навыках.

Для сложных структур потока (в частности – при неупорядоченном площадном характере водозаборного сооружения) используют расчёты с применением моделирования миграции загрязнений в подземных водах. Современные программы моделирования фильтрации, как правило, содержат вполне удобные в применении модули трассирования путей движения загрязнений в фильтрационных потоках.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДООТБОРА НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Соблюдение природоохранных требований является обязательным условием утверждения ЭЗ месторождений подземных вод. Оценка воздействия подземного водоотбора на природную среду, будучи важным направлением прикладных геоэкологических прогнозов, не обеспечена ещё в должной мере развитым методическим и расчётным аппаратом. Обозначим лишь несколько опорных тезисов по этой сложной тематике.

1. Эксплуатационный отбор подземных вод является одним из наиболее распространённых и значимых видов техногенного воздействия на гидрогеосферу и сопряжённые с ней элементы природной среды. Современные тенденции развития систем водообеспечения однозначно свидетельствуют о неизбежности постоянного увеличения добычи подземных вод в обозримой перспективе.

2. Эксплуатационный водоотбор подземных вод неизбежно наносит ущерб природной среде, особенно в районах массивованного (практически площадного) водоотбора.

3. Инициировать оценку возможного ущерба природной среде обязан гидрогеолог, выполняющий поисково-разведочные работы на конкретном месторождении. Это непосредственно вытекает из самого понятия «эксплуатационные запасы подземных вод» – к ним могут быть отнесены только те количества воды, эксплуатационный отбор которых не приводит к недопустимому (по масштабу и качеству) ущербу природной среде.

4. Конечный прогноз воздействия на отдельные элементы природной среды должен разрабатываться профильными специалистами; в профессиональной компетенции гидрогеолога находится лишь обеспечение «краевых» условий этой задачи, то есть количественное (в пространственно-временных координатах) обоснование ожидаемых воднобалансовых и гидрогеодинамических изменений под влиянием работы водозаборного сооружения.

5. Основные направления воздействия на природную среду при работе подземных водозаборов:

- Изменение водного баланса поверхностной гидросети (водотоки, водоёмы, болота)
- Изменение глубины залегания свободной поверхности грунтовых водоносных горизонтов
- Изменение напряжённого состояния обводнённых массивов горных пород



- Изменение гидрогеотермического режима (интенсивность и направленность тепловых потоков) массивов многолетнемёрзлых пород

6. Основные экологические последствия длительной эксплуатации водозаборов могут заключаться в следующем:

- Ухудшение условий обитания и деградация водной и околородной флоры и фауны поверхностной гидросети
- Ухудшение условий увлажнения приповерхностной части разреза с деградацией почв, растительных сообществ и ландшафтного комплекса в целом
- Ухудшение несущей способности массивов горных пород как основания для инженерных сооружений – с просадками земной поверхности, активизацией опасных геодинамических процессов (суффозия, карстообразование)
- Изменение пространственной конфигурации мёрзлых и талых толщ с сопутствующими опасными мерзлотными явлениями.

В целом следует ещё раз подчеркнуть, что проблема геэкологических последствий длительного и интенсивного эксплуатационного отбора подземных вод не обеспечена хотя бы минимально развитым аппаратом прогностических решений. Направление инженерного прогноза в современной экологии в целом и в геэкологии в частности практически не разрабатывается. Характерный пример – неопределённость (несмотря на длительную дискуссию специалистов разного профиля) нормативных требований по оценке допустимого изъятия речного стока, что существенно осложняет рациональное использование ряда разведанных крупных приречных месторождений подземных вод.

## ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Период эксплуатации (освоения) месторождения в методическом смысле рассматривается как очередная стадия его разведки («эксплуатационная разведка»), основной целью которой является контроль оправдываемости прогнозных расчётов. С этой целью на действующем водозаборе создаётся система **ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА**, данные которого передаются по территориальной принадлежности в общую систему Государственного мониторинга состояния недр.

Основное содержание гидрогеологических наблюдений на стадии освоения месторождения – пространственно-временной контроль развития *депрессии* напоров, изменения *качества* извлекаемой воды и состояния *природной среды*.

Постепенное накопление информации за многолетний период даёт возможность *корректировки* первичных (разведочных) прогнозов, то есть по сути – *переоценки* ЭЗ месторождения. Такая необходимость реально возникает по таким существенным причинам:

1) опасность «**недобора**» **реальной производительности** по сравнению с расчётной заявленной потребностью (отчётливо выраженная тенденция к перепонижению уровней, критическое ухудшение качества воды). В таких ситуациях необходима разработка рекомендаций по перераспределению нагрузки между скважинами или изменению схемы водозабора, защитным мероприятиям по сохранению качества и т.д.;

2) появление **дополнительной потребности** в воде: в этих случаях необходима оценка возможности увеличения производительности уже действующих скважин, разработка рекомендаций по расширению водозабора на фланговых участках; возможно – разработка мероприятий по искусственному пополнению запасов подземных вод;

3) значительное изменение **водохозяйственной обстановки** за предшествующий период эксплуатации водозабора: гидротехническое строительство, орошение или мелиорация сельскохозяйственных земель, изменение районных схем водопользования (например, ликвидация старых водозаборов) и т.д.

Наконец, необходимость переоценки запасов формально существует в связи с истечением расчётного срока эксплуатации водозабора.

Переоценка (пересчёт) ЭЗ требует уточнения фильтрационной схемы месторождения. При этом в том или ином объёме может быть предпринята **доразведка месторождения** (обычно на фланговых участках), однако, наиболее добротный и надёжный материал может быть получен по данным длительных наблюдений за предшествующей эксплуатацией водозабора. Ведь эксплуатационный водоотбор – это, по сути, мощный опыт, причём такой длительности и интенсивности, которых в принципе невозможно достичь при разведке. Особенно важно, что при таких пространственно-временных масштабах возмущения достаточно отчётливо проявляются замедленные во времени процессы, а также ощущается влияние удалённых границ и зон параметрической неоднородности.

С позиций гидрогеолога нужно помнить, что и эпигнозный анализ, и все расчёты параметров производятся с использованием величин понижений уровней, поэтому абсолютно необходимо, чтобы система мониторинга была создана и оборудована до

начала эксплуатации, чтобы на ней можно было максимально долго отследить **естественный** (нечтупенный) **фон** уровней и расходов.

Желательно осуществление наблюдений как за гидрогеодинамическими элементами потока, так и за доступными балансовыми механизмами. Обычные объекты наблюдений (мониторинга):

1) Все **эксплуатационные скважины** – на них должны наблюдаться производительность и динамические уровни; фиксируются кратковременные технологические и аварийные остановки и, естественно, длительные остановки для капитального ремонта скважин или насосного оборудования. Периодически производится гидрогеохимическое, бактериологическое опробование и т.д.

2) Система **наблюдательных скважин**: их количество и схема расположения (в плане и по разрезу) диктуются типом месторождения и масштабом водозабора; на них наблюдаются динамические уровни, выборочно – физические свойства и химический состав воды.

Частота наблюдений дифференцируется в зависимости от сезона года и удалённости от водозабора. Наиболее часто наблюдаются ближайшие наблюдательные скважины; на периферии воронки достаточна частота 3-6 раз/месяц. Плотность наблюдений возрастает в «активные» сезоны года (разные в климатических зонах).

Особо следует подчеркнуть, что должны быть оборудованы «фоновые» скважины (и/или другие объекты) за пределами депрессионной воронки, по которым отслеживается внешний фон за счёт естественных и техногенных процессов – при эпигнозном анализе его нужно вычитать, чтобы получить собственно влияние водоотбора.

3) **Естественные водопрооявления**: лучше всего – сосредоточенные родники, дренирующие основной (эксплуатируемый) или смежные горизонты. Родники каптируются капитальными лотками; дебит их измеряется гидрометрическим способом или водосливными рамками.

4) **Гидрометрические посты**: организуются на поверхностных водотоках в зоне влияния водозабора – желательно на «входе» и «выходе» реки из площади депрессионной воронки плюс створ напротив или несколько ниже водозабора. При наличии притоков следует иметь вспомогательные створы на их устьях, чтобы можно было замкнуть русловой баланс основной реки. Частота наблюдений определяется, исходя из типичного гидрологического режима местных рек.



Следует особо подчеркнуть, что эффективная и надёжная интерпретация уникальных данных опыта эксплуатации водозаборного сооружения возможна только при рациональной организации и ответственном ведении объектного мониторинга на всём периоде освоения месторождения. К сожалению, рассмотренная схема наблюдений крайне редко соблюдается на реальных действующих водозаборах, что целиком лежит на совести исполнителей от эксплуатирующих организаций. В отличие от всех других опытных данных, режимную информацию невозможно восстановить и тем более получить заново – время, увы, необратимо. Непонимание этой простой истины и элементарная недобросовестность часто приводят практически к полной потере качества данных мониторинга и невозможности выполнения сколько-нибудь достоверного эпигнозного анализа опыта эксплуатации для большинства водозаборов.

Для переоценки ЭЗ привлекаются, кроме того, многолетние данные стационарных наблюдений, выполняемых специализированными федеральными, территориальными и ведомственными службами:

- метеорологические данные по близлежащим метеостанциям и постам (периоды выпадения, интенсивность, фазовое распределение осадков, испаряемость, влажность и температура воздуха и т.п.);
- гидрологические данные по ближайшим рекам-аналогам;
- периоды, нормы и площади сельскохозяйственного орошения;
- периоды и режим регулирования уровней водохранилищ;
- данные по режиму эксплуатации ближайших водозаборов подземных вод и т.д.

Особая форма обобщения данных мониторинга эксплуатационного водоотбора – создание **региональных постоянно-действующих моделей**. Они полезны для районов массированного водоотбора или для самых крупных месторождений, имеющих значительные области формирования дебита и, следовательно, гидрогеодинамического влияния. Это региональные модели (в основе своей гидрогеодинамические), информационная база которых обновляется практически в режиме реального времени (в этом смысле следует понимать термин «постоянно-действующие»). Они должны учитывать:

- климатические, ландшафтные, геологические, гидрогеологические, гидрологические условия контролируемой территории,
- водохозяйственный режим (гидротехнические сооружения, водозаборы, дренажи, сбросы, потери, аварийные ситуации и т.д.).

Основное преимущество этих достаточно сложных в создании и поддержании систем состоит в возможности оперативной прогнозной оценки любой возникшей или

проектируемой ситуации – с точки зрения общего водного баланса и воздействия на подземные воды.

Для Московского региона (примерно в границах Московской области) такая модель разрабатывалась (ещё в аналоговом виде) с 70-х годов: вначале в МГУ (Л.К.Гохберг, И.С.Пашковский, А.А.Рошаль), впоследствии (уже в численном виде) – в подразделениях геологической службы центральных районов РФ и в Научно-производственном центре «Геоцентр-Москва».

