

РАСЧЕТ ЗСО ПОДЗЕМНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Границы зон санитарной охраны водозаборов назначаются для поддержания качества подземной воды рядом с водозабором.

Это обусловлено тем, что загрязнение вблизи водозабора может быстро сказаться на химическом и бактериологическом составе отбираемой воды, и, как следствие, нарушить условия водоснабжения.

Современная дилемма

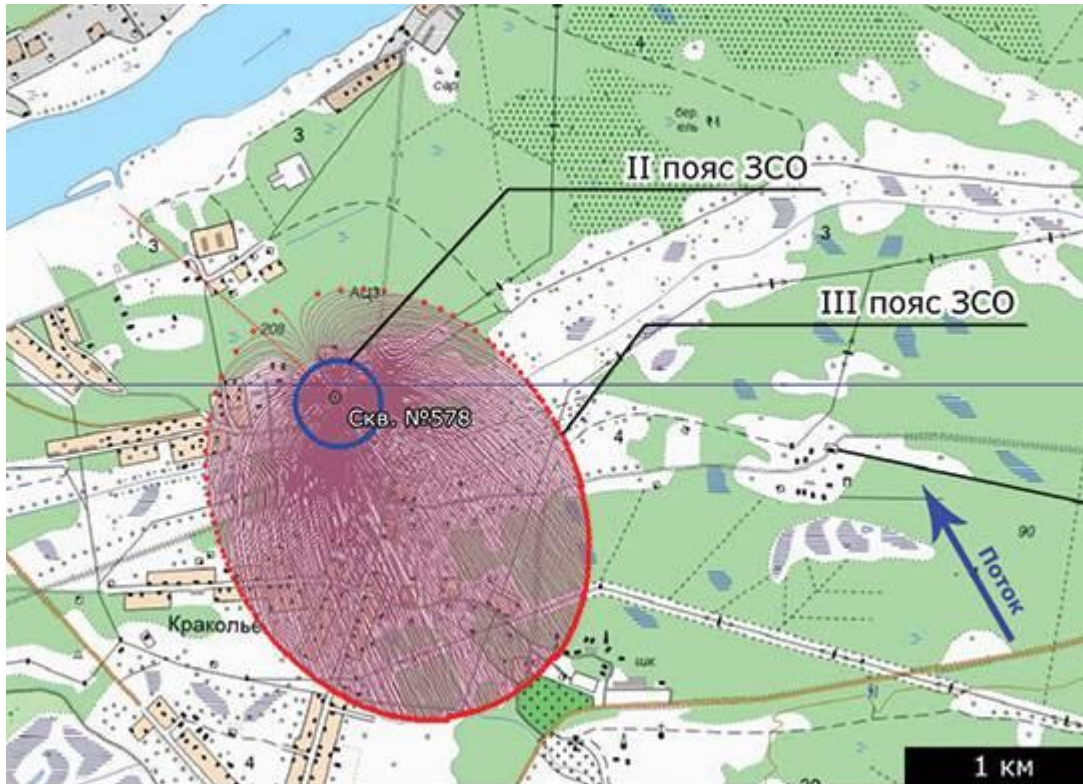
Простому специалисту зачастую не под силу провести гидродинамические расчеты ЗСО подземных водозаборов, а санитарному врачу сложно проверить эти расчеты.



Дополнительно ситуация осложняется "бытовыми" проблемами: отсутствием исходной информации, не четкими требованиями к составу и объемам графической и текстовой части проекта и т.д.

Выход: совершенствовать законодательные акты и повышать требования к компетенции исполнителя и принимающей стороны.

3 пояса ЗСО: СанПин 2.1.4.1110-02



1 пояс ЗСО – строгой охраны.
Назначается: 50 м для незащищенных и 30 м для защищенных подземных вод

2 пояс ЗСО – от бактериального загрязнения (100-400 сут в зависимости от климатического региона)

3 пояс ЗСО – время эксплуатации водозабора (обычно 25 лет)

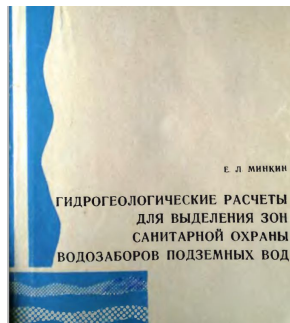
Российский опыт и зарубежная практика внедрения мероприятий по охране от загрязнения подземных водозаборов

Инструкция по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водопроводов с подземными источниками водоснабжений. Всесоюзная гос. сан. инспекция, **1956г.**
Только 2 пояса ЗСО

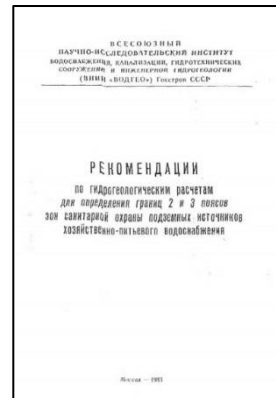
Положение о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения №2640-82.
18 декабря 1982 г.

Границы 2 и 3 пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами

СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.
26 февраля 2002 г.



Минкин Е.Л.
Гидрогеологические расчёты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод М.: Недра, **1967.** - 124 с.



Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, **1983.**



Орадовская А. Е.,
Лапшин Н. Н.
Санитарная охрана водозаборов подземных вод. — М.: Недра, **1987.** — 167 с

ЗСО В ЕВРОПЕ

Directive 2000/60/EC – для источников питьевого водоснабжения должны быть определены охранные зоны (SGZs - safeguard zones)

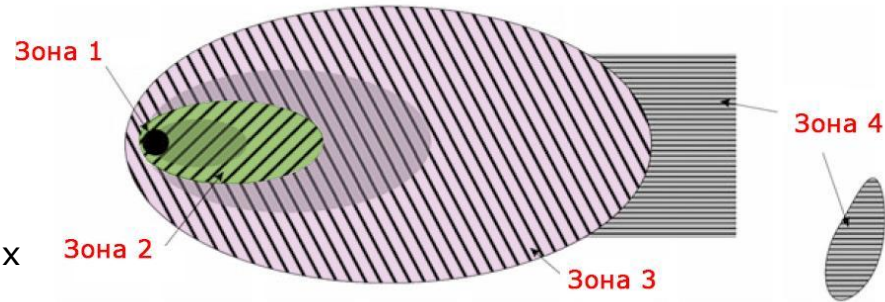
Зона 1 – Охранный район непосредственно самого водозабора (50 м по умолчанию или расчет на 50 дней миграции);

Зона 2 – Расчетная зона отвечает времени пути миграции загрязнения до водозабора (500 м или 400 дней миграции). Для напорных горизонтов не выделяют;

Зона 3 – Область захвата эксплуатируемого водоносного горизонта ($t = \infty$).

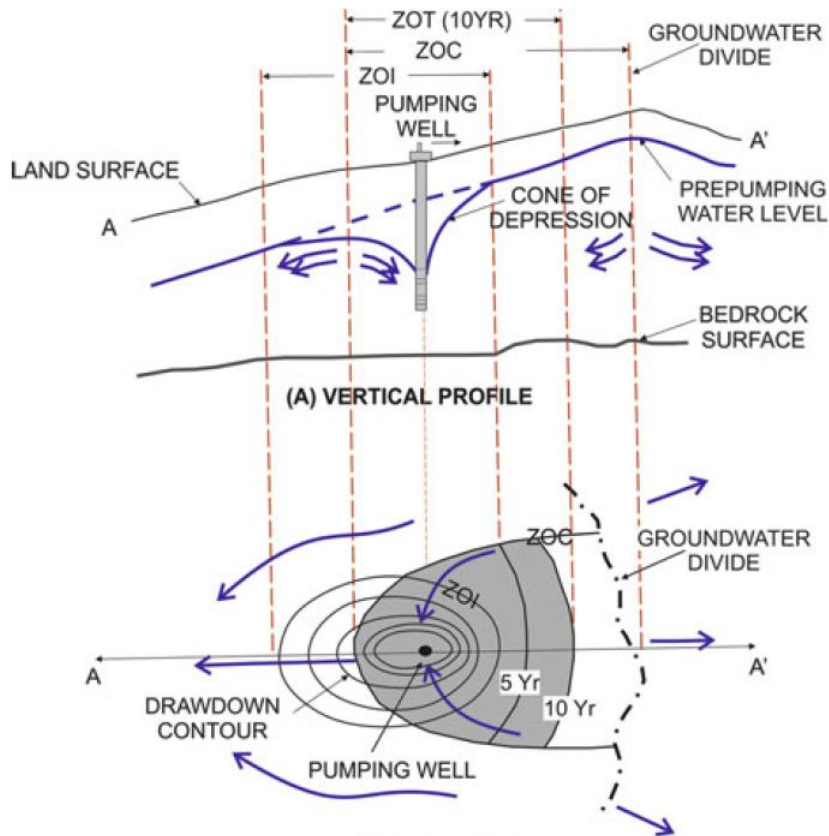
В различных странах ЕС Зону 2 и 3 могут разделять на несколько под зон в зависимости от размера пояса и времени миграции к водозабору.

Во Франции и Великобритании может выделяться 4 зона, которая картирует “особые участки”.



		I зона	II зона	III зона	
Country	Size	Inner zone	Outer zone	Relation to catchment	Comment
England and Wales		50 days and 50 m minimum	400 days or minimum 25% of recharge catchment	Whole catchment	In karst aquifers, the aquifer source protection area may be also be mapped as the Inner Protection area. Zones of Special Interest (i.e. surface water catchments located outside of aquifer outcrop area). Karst – whole aquifer source protection area
Ireland		100 days or 300 m		Whole catchment or 1,000 m	
Austria	<10 m	60 days		Whole catchment (sub-divided for large catchment areas, based on radius of 2 km)	
Denmark	10 m	60 days or 300 m		10–20 years	
France	<1 hectare	50 days		Whole catchment	
Holland		60 days (replaced by risk assessment)		100 years	
Germany	10–30 m (Zone I)	50 days (Zone II)		Whole catchment (subdivided for large catchment areas based on radius of 2 km) (Zone III)	
Hungary		20 days	182.5 days	5–50 years (hydrogeological protective zone)	
Italy	Minimum 10 m (absolute guardianship zone)	180–365 days depending on vulnerability and hazard (respect zone)		Whole catchment (protection zone)	
Portugal		20–60 m (inner)	50 days or 40–280 m depending on aquifer type (intermediate)	3,500 days or 350–2,400 m depending on aquifer type (outer)	
Switzerland	10 m	Individually defined		Double size of middle zone	
Australia		50 m	10 years	Whole catchment	
USA		100–400 feet		Whole catchment (Well Head Protection Plan)	

ЗСО В АМЕРИКЕ



Safe Drinking Water Act, US 1986

Guideline for Delineation of Wellhead Protection Areas (WHPAs), US EPA 1987

Зона 1 – 80-120 м для больших водозаборов или рассчитывается в зависимости от расхода водозабора (Zone I radius in feet = $(150 \times \log \text{расхода в галонах в сут.}) - 350$). Зона одновременно защищает от прямого воздействия и от патогенного;

Зона 2 – Расчетная на 180 дней (время аннигиляции загрязнения или время для переноса водозабора в другое место);

Зона 3 – водосборный бассейн;

IWPA - временная зона

Radius = $(32 \times \text{расход в галонах в минуту}) + 400$

Каждый штат разрабатывает свои нормативные документы по размерам зон ЗСО.

Коэффициенты фильтрации

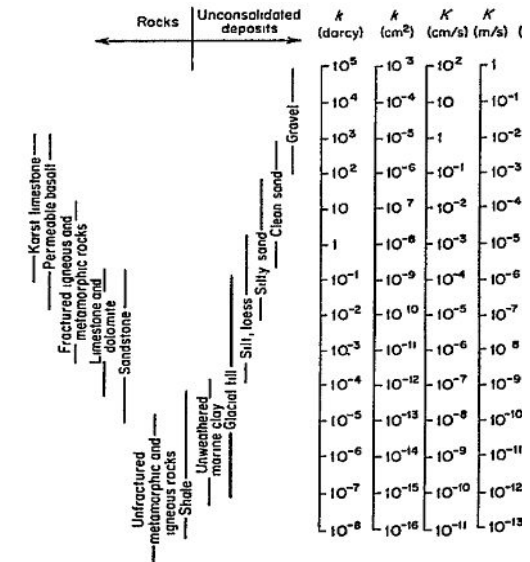


Table 3.1 Factors controlling the shape and area of hydraulic capture zones

Type of zone	Area	Shape
50 and 400 days	<ul style="list-style-type: none"> Abstraction rate Kinematic porosity Aquifer thickness Hydraulic conductivity Recharge (direct and indirect) (Hydraulic gradient and direction)¹ 	<ul style="list-style-type: none"> As for factors in area column plus: <ul style="list-style-type: none"> boundary conditions
Catchment Protection Zones	<ul style="list-style-type: none"> Abstraction rate Recharge (direct and indirect) 	<ul style="list-style-type: none"> As for factors in area column plus: <ul style="list-style-type: none"> Hydraulic conductivity Aquifer thickness Boundaries (Hydraulic gradient and direction)¹

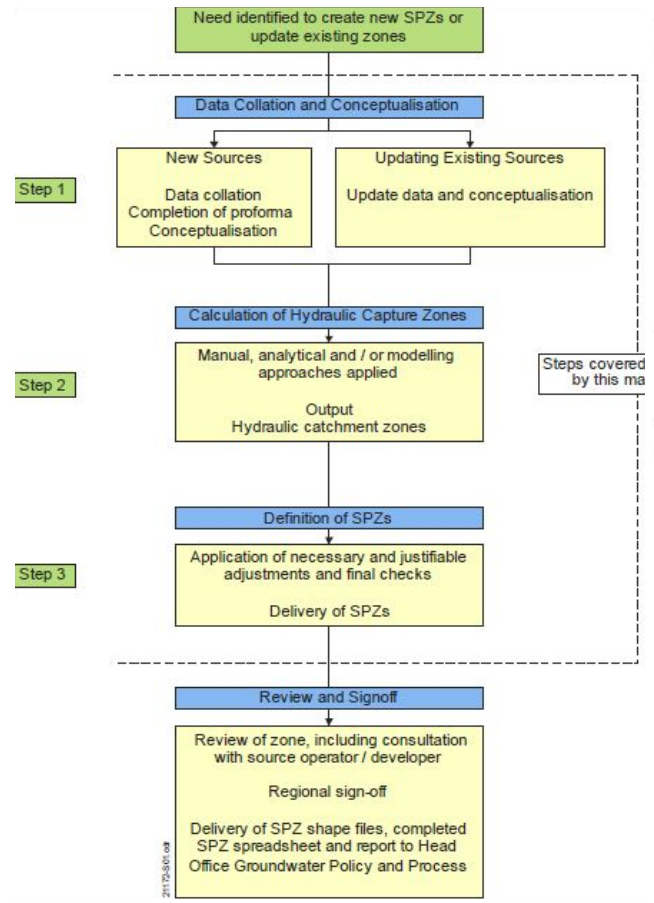
Notes: ¹The term hydraulic gradient is given in brackets as this factor is dependent on groundwater flow, aquifer thickness and hydraulic conductivity.

Table 3.2 Influences on the geometry of hydraulic capture zones

Parameters	Influences
Aquifer thickness	Aquifer thickness determines the transmissivity of the aquifer and the volume of water in the aquifer, and hence directly affects the area of 50 and 400 day zones and the shape of hydraulic capture zones. A 50 per cent decrease in aquifer thickness results in an approximate doubling of the zone area and an increase in the width of the zone.
Kinematic porosity	Kinematic porosity has a direct affect on the area of the 50 and 400 day zones. A 50 per cent decrease in porosity results in a 2–4 fold increase in the zone area.
Hydraulic conductivity	The horizontal and vertical hydraulic conductivity mainly affect the shape of protection zones in terms of the width and the downgradient extent of the zone. An increase in the horizontal hydraulic conductivity will decrease the width of the capture zone to a borehole. In practice, the vertical horizontal conductivity is rarely considered due to lack of data/information.
Hydraulic gradient	The hydraulic gradient affects the width and downgradient extent of the hydraulic capture zone – the steeper the gradient the narrower the zone.
Abstraction rate	The abstraction rate directly affects the area of hydraulic protection zones. Interference between abstraction boreholes can greatly affect the shape of zones, producing 'tails' and 'holes'.
Recharge (annual)	The rate of groundwater recharge directly affects the area of the catchment zone. The areas of 50 and 400 day zones are less sensitive to recharge rates. Recharge from surface run-off from adjacent drift or karstic areas can distort the catchment zone.
Boundaries – no flow	No flow boundaries, faults and groundwater divides constrain the shape of hydraulic protection zones.
Boundaries – recharge head dependent	Head-dependent boundaries affect the shape and possibly reduce the area of hydraulic capture zones (particularly the catchment zone).

US EPA предлагает множество методов для расчета ЗСО: от приближенных до точных.

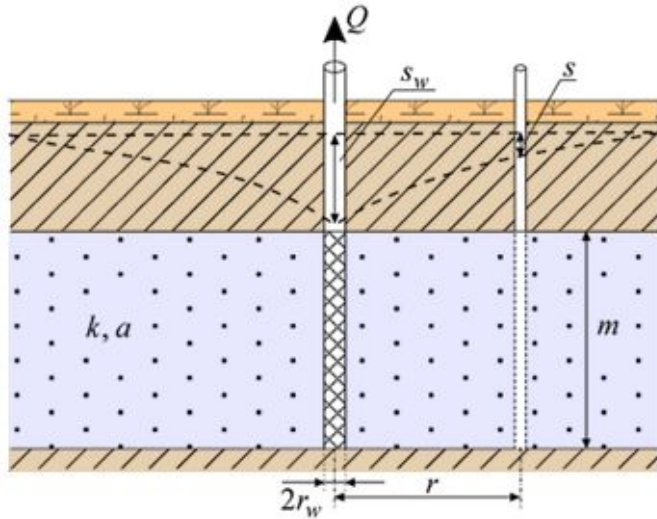
Посыл в том, что лучше определить неидеальную ЗСО, чем вообще никакой.



Схематизация гидрогеологических условий

Напорный и безнапорный пласт

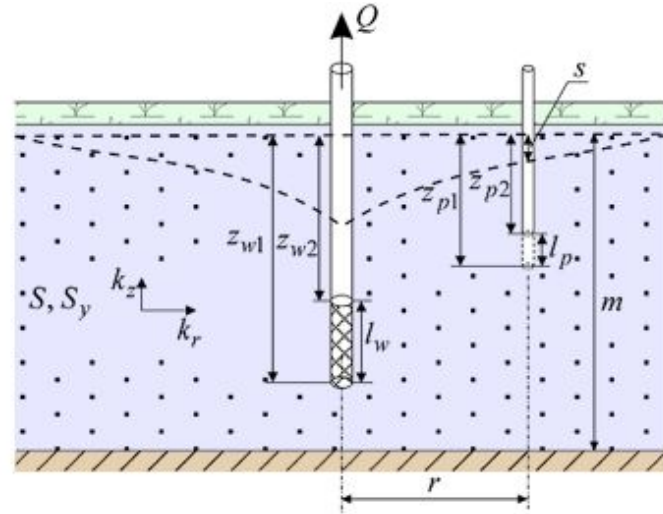
Схема



Решение

Тейса

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}\right)$$

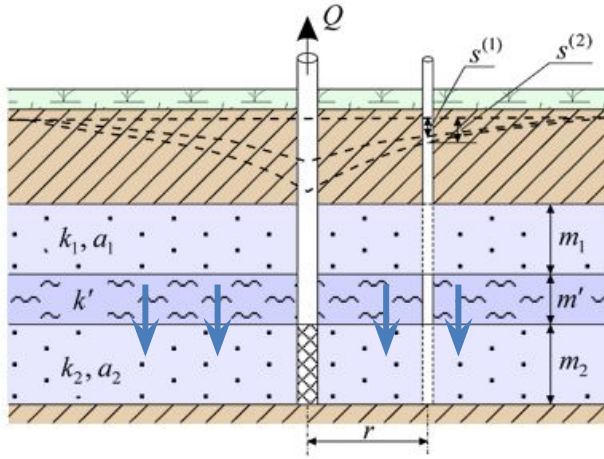


Решение

Ньюмана

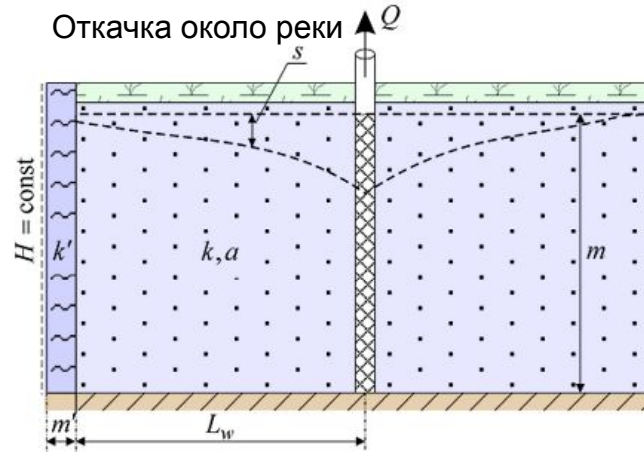
$$s = \frac{Q}{4\pi k_r m} \int_0^{\infty} 4\pi J_0\left(\tau \chi \frac{r}{m}\right) \left[u_0(\tau) + \sum_{n=1}^{\infty} u_n(\tau) \right] d\tau$$

Слоистые системы, перетекание через водоупор



Решение Хантуша-
Джейкоба

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}, \frac{r}{B}\right)$$



Решение
Шестакова

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4at}\right) - W\left(\frac{\rho_L^2}{4at}\right) \right]$$

Основные параметры для расчета ЗСО

Необходимый набор параметров для расчета ЗСО

№	Параметр	Как определяется	Где взять?
1	Расход скважины	Задается в проекте	В проекте указывается заявленная водопотребность
2	Мощность пласта	Бурением	В паспорте скважины
3	Коэффициент фильтрации	Откачками из скважин	В отчете по оценке запасов подземных вод
4	Уклон потока и его направление	По трем скважинам или по карте гидроизогипс	Гидрогеологические карты, данные инженерных изысканий
5	Активная пористость	В лаборатории	По данным инженерных изысканий или в справочной литературе

На размер и положение поясов ЗСО непосредственное влияние также оказывают естественные границы фильтрационного потока

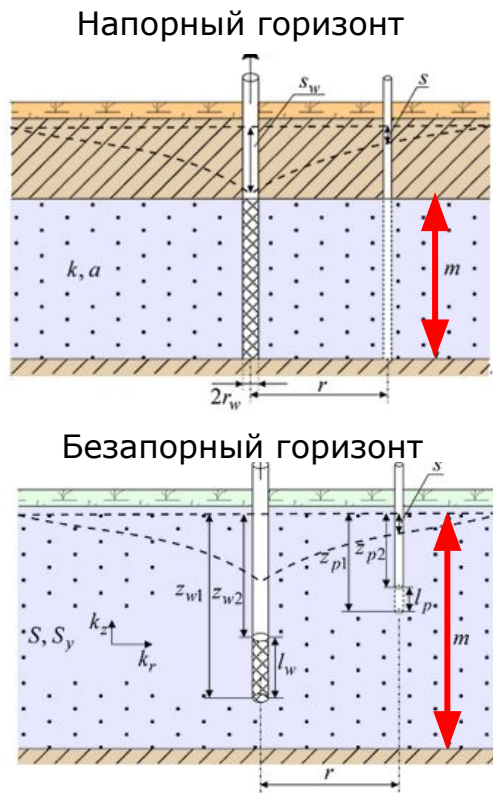
Расход скважины и мощность водоносного горизонта

Расход (или дебит) – объем воды, который извлекается из скважины в единицу времени, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Значится в проекте как заявленная водопотребность.

Как правило, заявленная величина значительно больше фактически извлекаемой воды.

Иногда при подготовке проектов ЗСО исторических скважин в расчет закладывают фактический расход.



Геологическая колонка

Скважина №1
отметка устья – 80,0 м

Глубина залегания слоя, м		Мощность слоя, м	Разрез и конструкция скважины	Уровень подземных вод		Литологическое описание пород
от	до			повышающийся	устанавливающийся	
0,0	2,0	2,0	80мм 140мм			Суглинок серый, легкий средней плотности
2,0	8,0	6,0		4,0	4,0	Песок мелкозернистый, светло-серый, влажный, рыхлый, с глубины 4,0 м - водоносный
8,0	13,0	5,0			9,5	Глина темно-серая, тугопластичная с тонкими прослойками песка
13,0	18,0	5,0				Гравийно-галечниковые отложения с включением песка, водонасыщенные, плотные

Коэффициент фильтрации (k), м/сут

Анри Дарси



Закон Дарси - 1856 г

$$v = k \cdot I$$

Скорость
фильтрации

Коэффициент
фильтрации

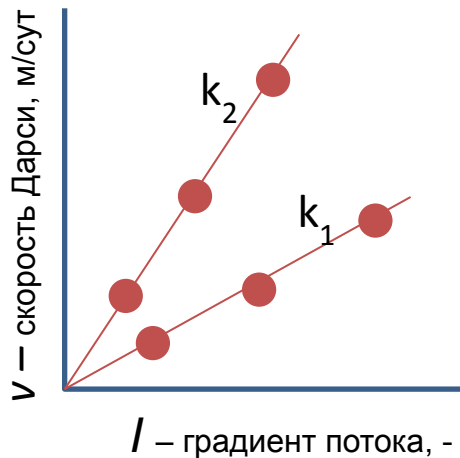
Градиент
потока

Скорость миграции (u)

$$u = k \cdot I / n$$

Скорость
миграции

Активная
пористость



Проводимость пласта (T)

$$T = k \cdot m$$

Проводимость

Мощность
горизонта

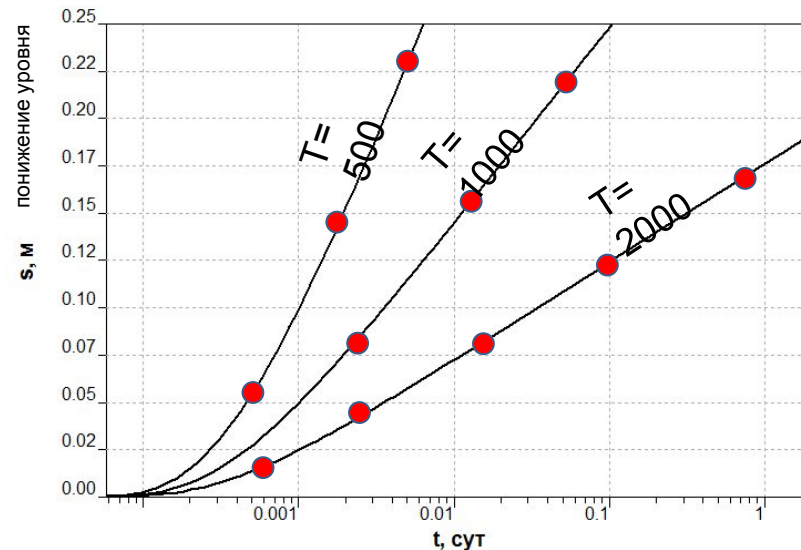
k или T можно найти в отчете по оценке запасов водозабора подземных вод

Опытно-фильтрационные опробования (откачки)

Бурение водозаборной скважины



Типовой график снижения
Уровня воды при откачке

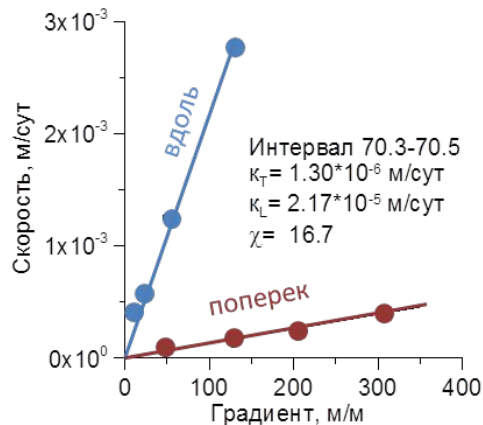
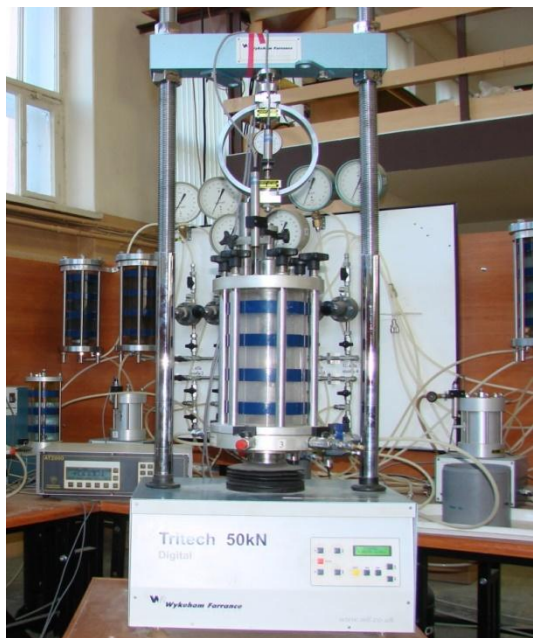


Самый надежный способ !!!

Обязательный вид работ при оценке запасов подземных вод эксплуатируемого водозабора

Лабораторные испытания и эмпирика

Определение коэффициента фильтрации в лаборатории



Менее надежный способ: встает проблема масштаба осреднения

Эмпирические формулы по расчету коэффициента фильтрации на основании данных по грансоставу пород.

Формула Хазена
Формула Слихтера
и др....

Не надежный способ

Что делать, если нет данных?

PARABASE

База данных фильтрационных параметров содержит в себе справочную информацию о параметрах водоносных пластов (коэффициент фильтрации, пористость и др.)

<http://ansdimat.com/ru/parabase.shtml>

1. Справочное руководство гидрогеолога. Т.1. Под ред. В.М. Максимова. 1979. С.37

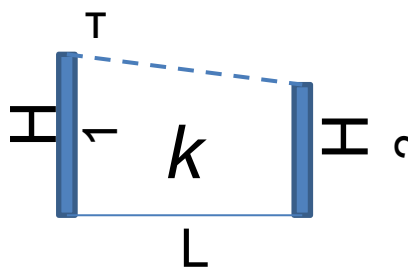
Тип породы	Значение, м/сут
Очень хорошо проницаемые галечники и гравий с крупным песком, сильнозакарстованные известняки и сильнотрещиноватые породы	100 – 1000 и более
Хорошо проницаемые галечники и гравий, частично с мелким песком, крупный песок, чистый среднезернистый песок, закарстованные, трещиноватые и другие породы	10 – 100
Проницаемые галечники и гравий, засоренные мелким песком и частично глиной, среднезернистые и мелкозернистые, слабозакарстованные, малотрещиноватые и другие породы	1 – 10
Слабопроницаемые тонкозернистые пески, супеси, слаботрещиноватые породы	0.1 – 1
Весьма слабопроницаемые суглинки, очень слаботрещиноватые породы	0.001 – 0.1
Почти непроницаемые глины, плотные мергели и другие массивные породы с ничтожной проницаемостью	< 0.001

2. Справочное руководство гидрогеолога. Под ред. В.М. Максимова. 1959. С.43. Овчинников А.М. Общая Гидрогеология. 1955. С.141.

Градиент и направление потока

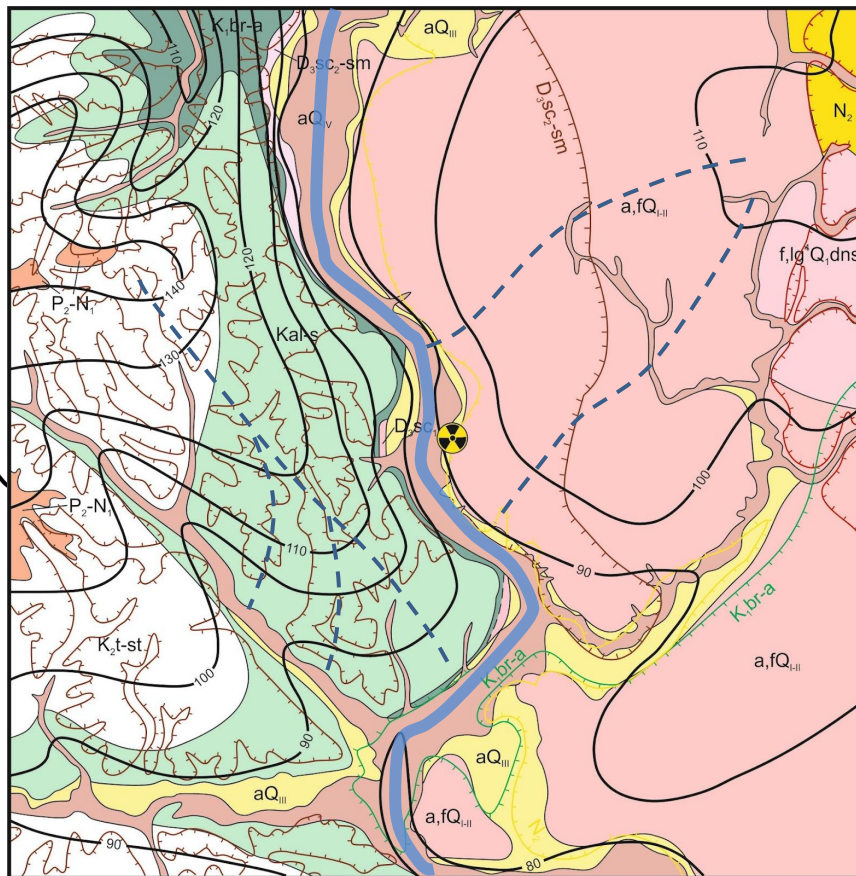
$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

градиент



Для равнины:
 $I = 0,0001 - 0,001$

Для склонов:
 $I = 0,005 - 0,1$



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Водосные горизонты, спорадически обводненные толщи, водоупоры

- | Первые от поверхности | Залегающие ниже | |
|-----------------------|-----------------|---|
| | | Современный аллювиальный водосный горизонт |
| | | Верхнечетвертичный аллювиальный водосный горизонт |
| | | Нижне-среднечетвертичный аллювиальный водосный горизонт |
| | | Донской надморенный водно-ледниковый подгоризонт |
| | | Донской ледниковый водоупор |
| | | Плиоценовый водосный горизонт |
| | | Эоцен-миоценовый водосный горизонт |
| | | Турон-сантонский водосный горизонт |
| | | Альб-сеноманский водосный горизонт |
| | | Баррем-аптский водосный горизонт |
| | | Верхнецифровско-семилуцкий водосный горизонт |
| | | Нижнецифровская спорадически обводненная толща |

Прочие обозначения

Геологические границы:

- установленные
- предполагаемые

Гидроизогипсы первого от поверхности водосного горизонта



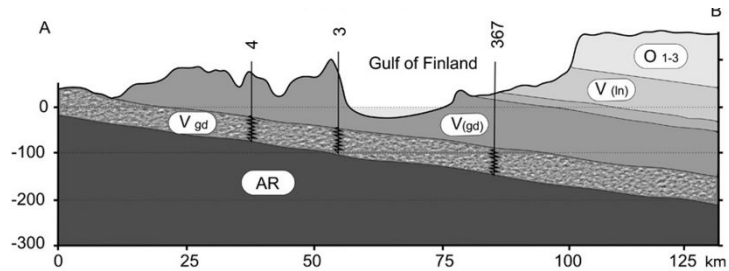
Площадки НВ АЭС-2

Карта составлена на основе гидрогеологической карты масштаба 1:200 000 из отчета Белозерцева Г.П. (Воронеж, ГГФЭ, 1991г., ЦРГЦ, инв.№39220)

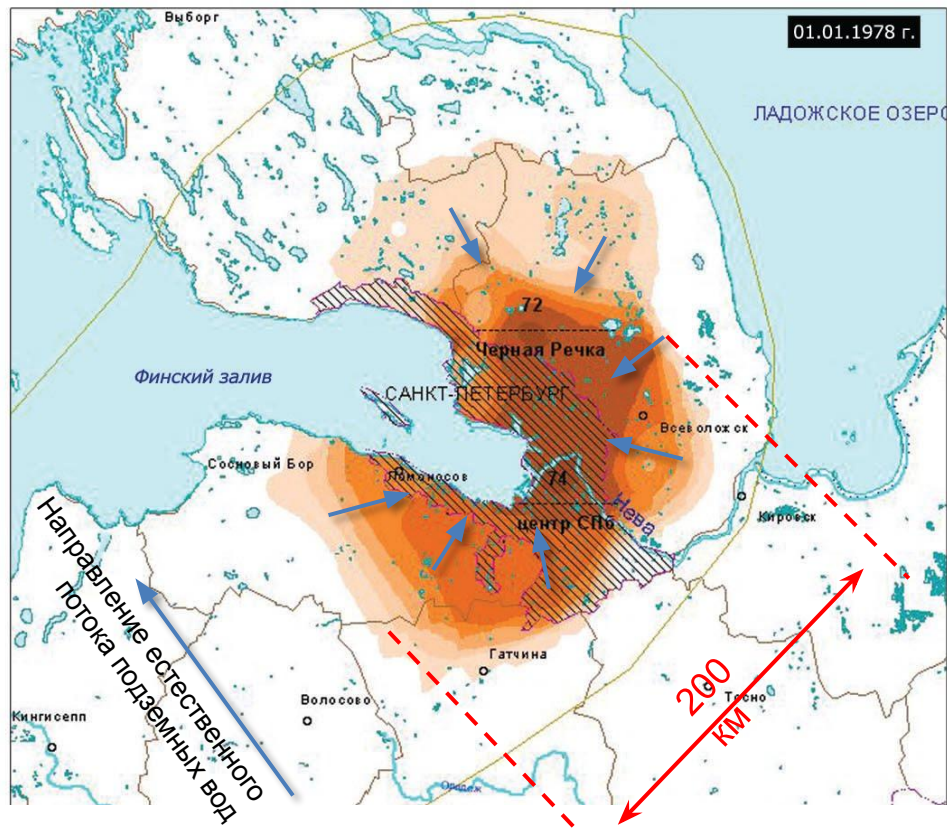
Карта гидроизогипс

Градиент и направление потока

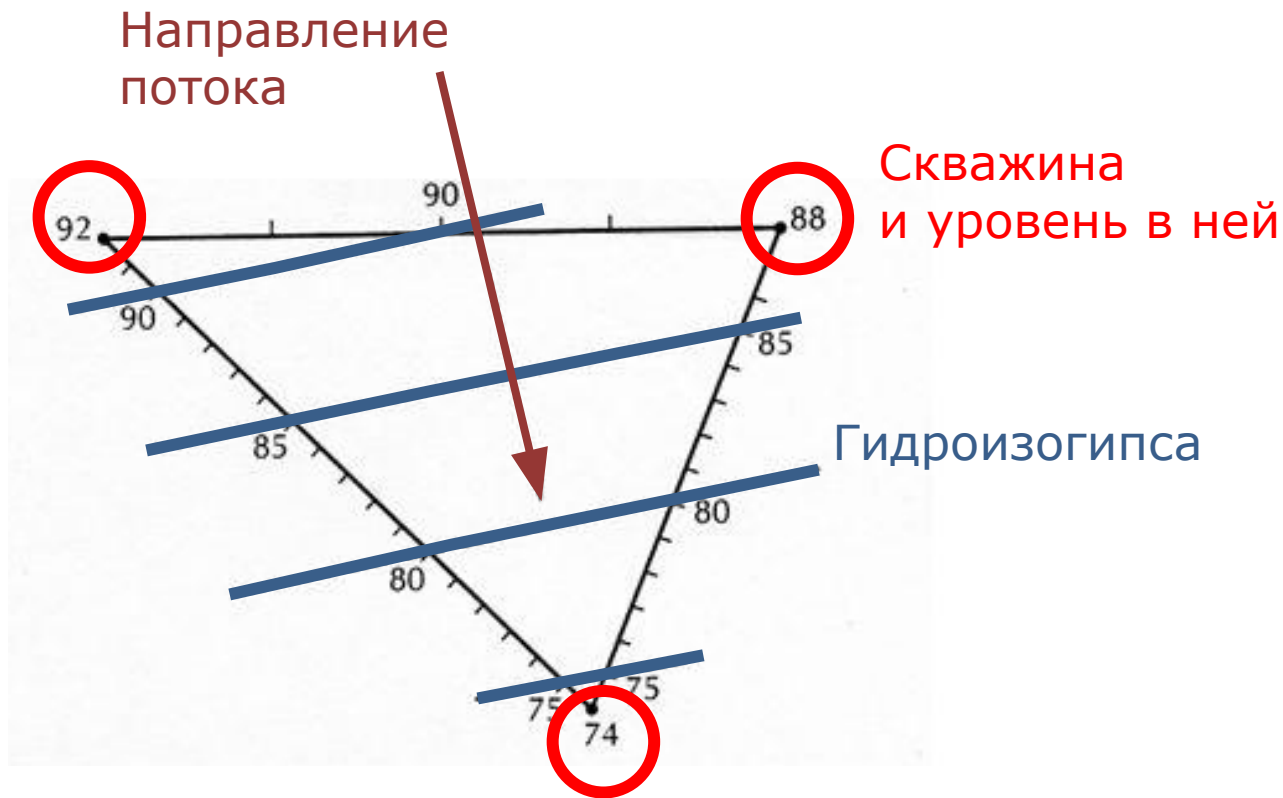
Направление потока подземных вод не всегда соотносится с рельефом поверхности или направлено к региональным зонам разгрузки (рекам)!



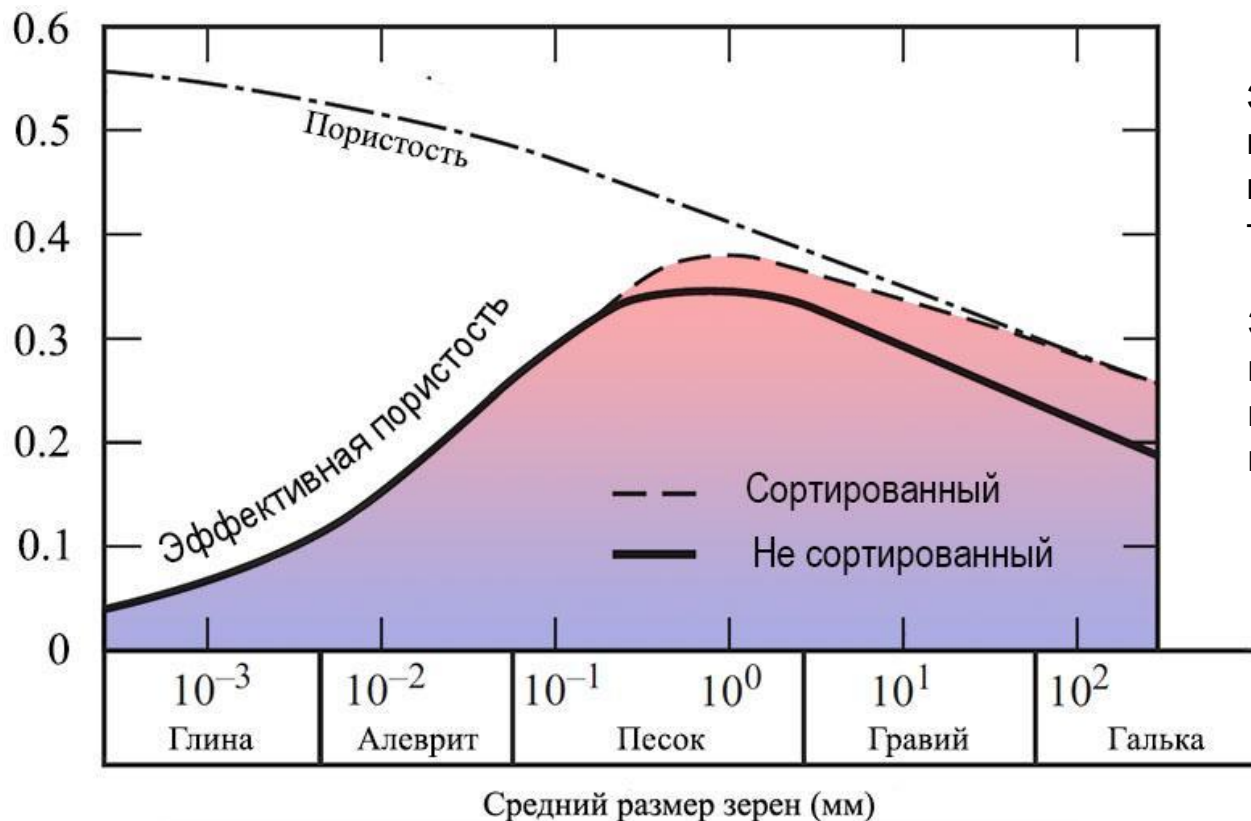
Воронка депрессии в гдовском горизонте



Определение градиента и направления потока по 3 скважинам



Эффективная пористость

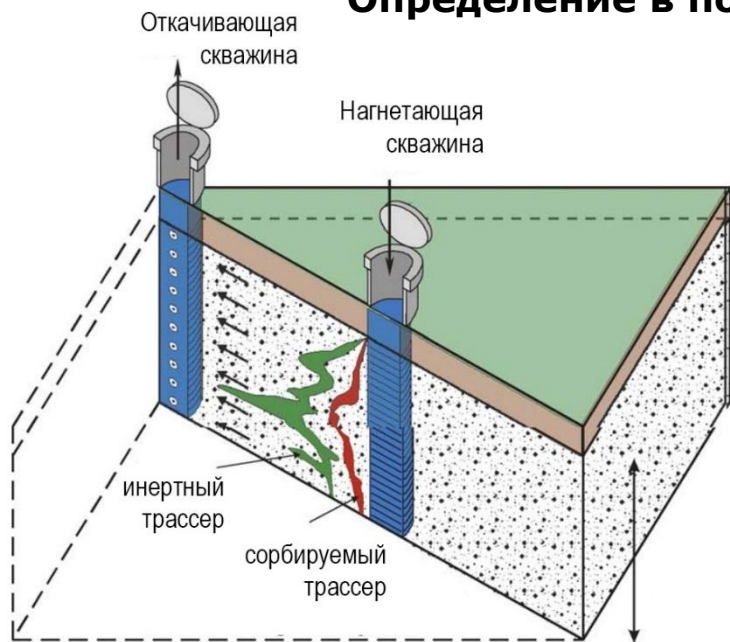


Эта та часть связанных между собой пор, которая участвует в транспорте вещества.

Эффективная пористость, как правило, меньше общей пористости.

Эффективная пористость

Определение в поле



$$v = k \cdot I / n$$

Скорость

Коэф.
фильтрации

Градиент

Пористость

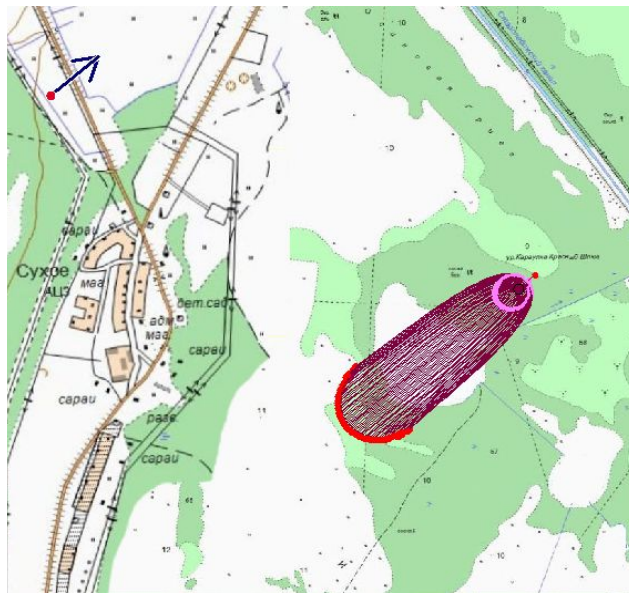
Определение в лаборатории



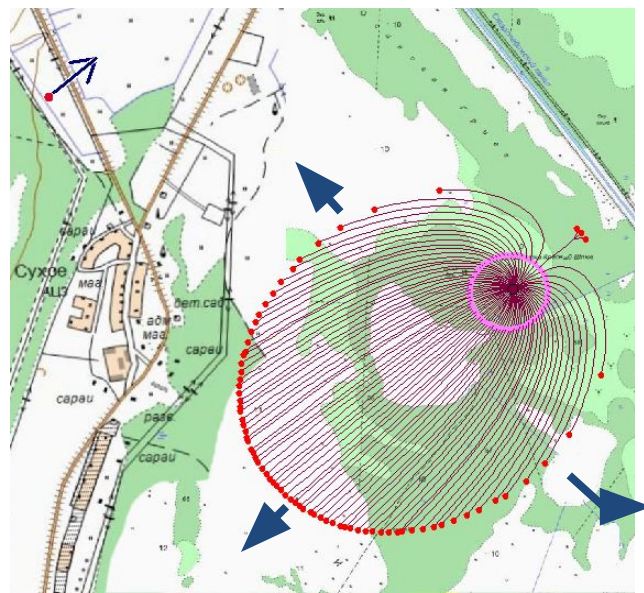
Как параметры влияют на размеры ЗСО?

РАСХОД

При увеличении расхода зона “круглеет” и увеличивается



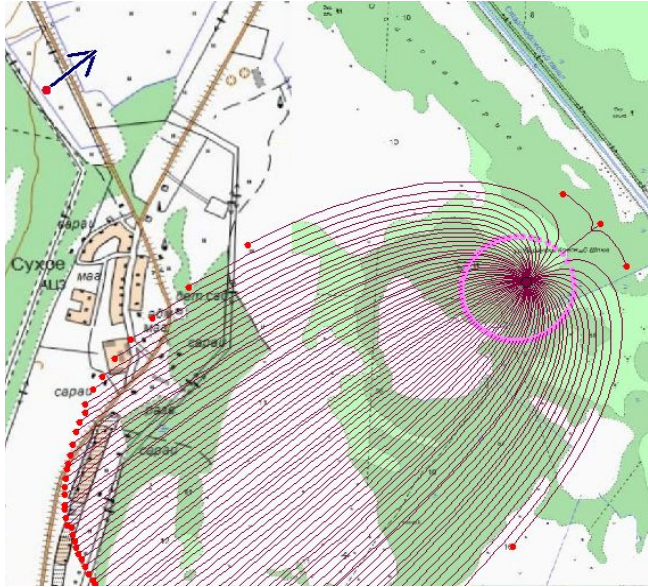
$Q = 1\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$



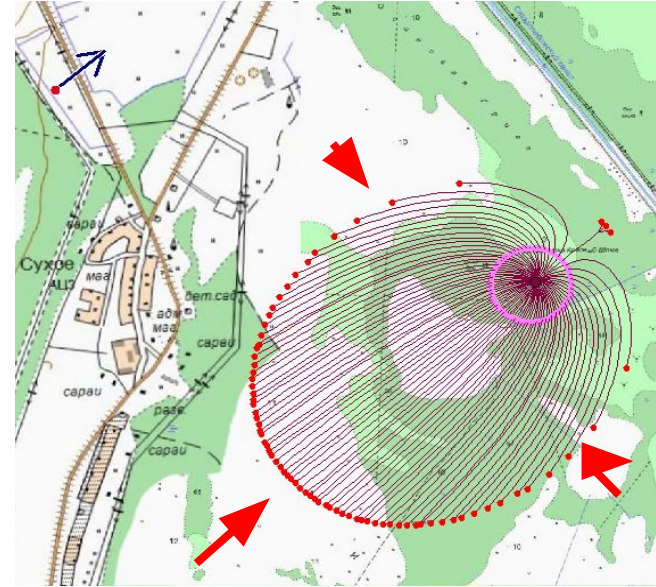
$Q = 5\ 000\ \text{м}^3/\text{сут}$

АКТИВНАЯ ПОРИСТОСТЬ

При увеличении пористости зона “круглеет” и уменьшается



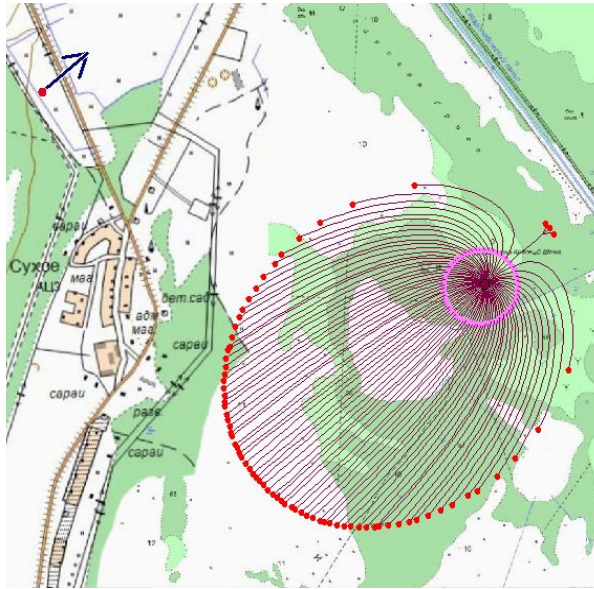
$n = 0.1$



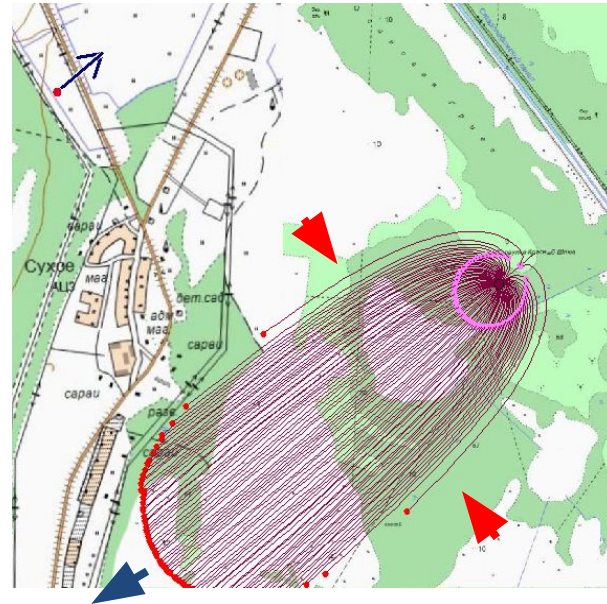
$n = 0.2$

ГРАДИЕНТ ПОТОКА

При увеличении градиента зона вытягивается по потоку и уменьшается по ширине



$I = 0.005$

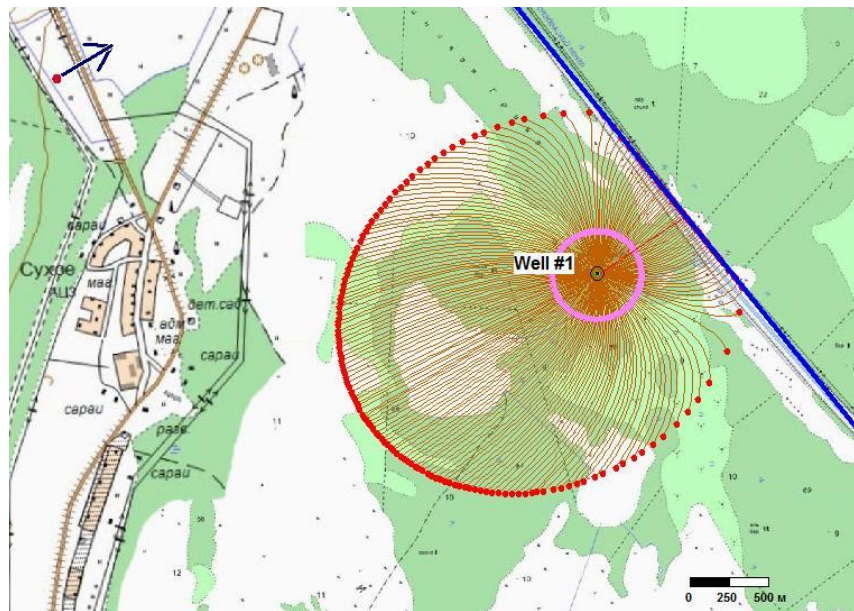


$I = 0.01$

Роль плановых границ при формировании контуров ЗСО

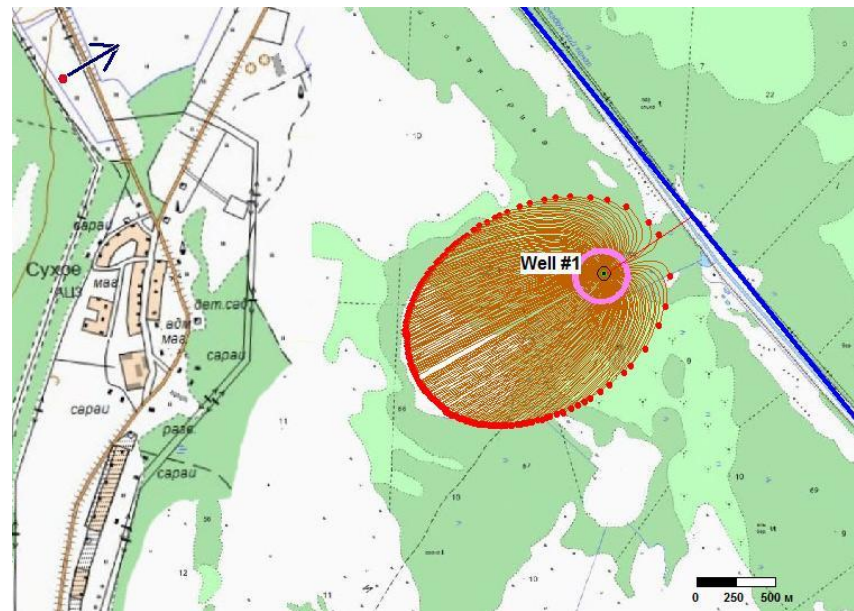
Границы: река

ЗСО замкнулась на реку



$$Q > \pi X_0 k m l$$

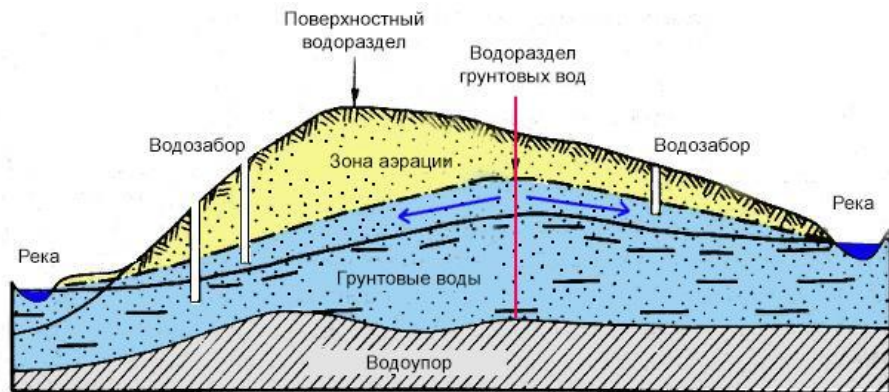
ЗСО не замкнулась на реку



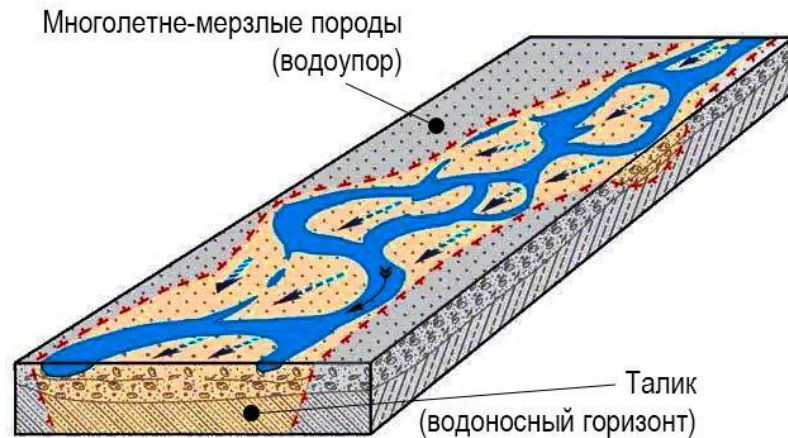
$$Q \leq \pi X_0 k m l$$

Границы

Область питания водоносного горизонта и линия водораздела

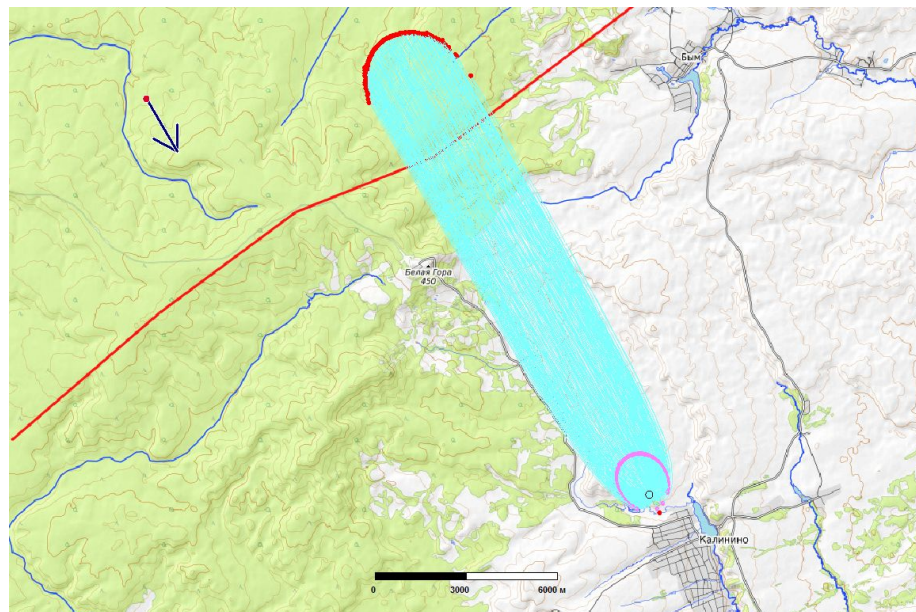


Ограниченные водоносные горизонты Пласт-полоса

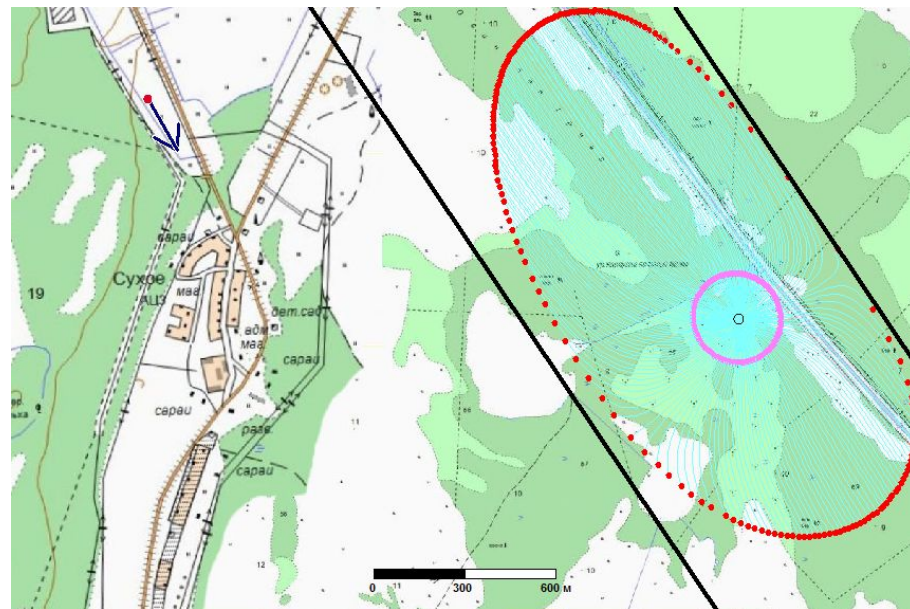


Естественные границы фильтрационного потока

Размеры ЗСО ограничены водораздельной линией

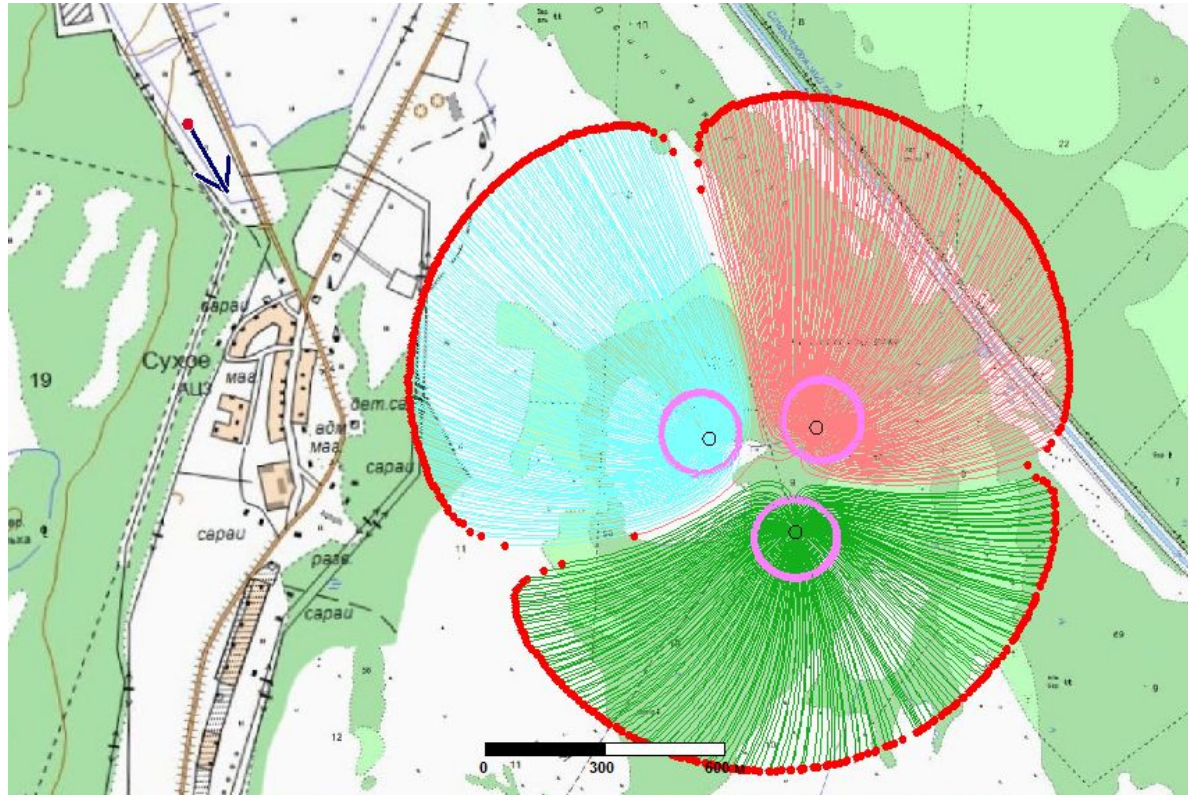


Пласт-полоса



Естественные границы фильтрационного потока

Взаимодействие водозаборов деформирует границы ЗСО



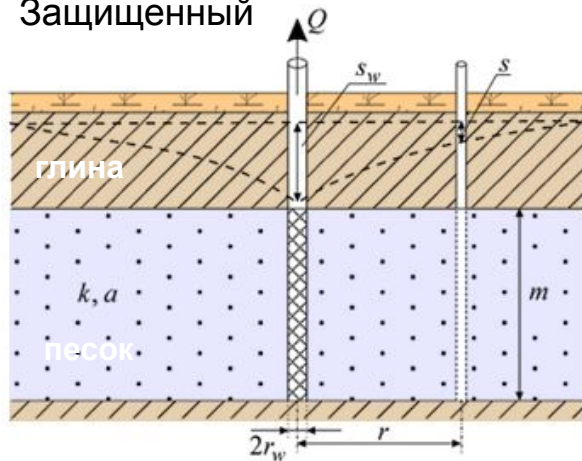
Защищенность подземных вод

Защищенность водоносного горизонта

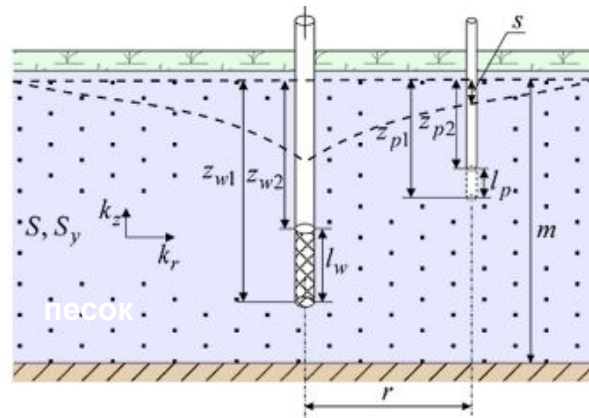
К защищенным подземным водам относятся подземные воды, имеющие в пределах всех поясов ЗСО сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов.

К недостаточно защищенным подземным водам относятся: а) воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта б) напорные и безнапорные воды, которые получают питание на площади ЗСО из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи

Защищенный



Недостаточно защищенный



Гольдберг: качественная характеристика защищенности

Балльная оценка защищенности грунтовых вод детально разработана В.М.Гольдбергом. Сумма баллов, зависящая от условий залегания грунтовых вод, мощностей слабопроницаемых отложений и их литологического состава, определяет степень защищенности грунтовых вод.

I По литологии выделяют три группы:

- a** - супеси, легкие суглинки ($k = 0,1 - 0,01$ м/сут),
- c** - тяжелые суглинки и глины ($k < 0,001$ м/сут),
- b** - смесь пород групп а и с ($k = 0,01 - 0,001$ м/сут).

II По глубине уровня грунтовых вод (Н)

Н, м	Баллы
<10	1
10 - 20	2
20 - 30	3
30 - 40	4
>40	5



Мощность слабопроницаемых отложений

m_0 , м	Литол.группы	Баллы	m_0 , м	Литол.группы	Баллы
<2	a	1	12 - 14	a	7
	b	1		b	10
	c	2		c	14
2 - 4	a	2	14 - 16	a	8
	b	3		b	12
	c	4		c	18
4 - 6	a	3	16 - 18	a	9
	b	4		b	13
	c	6		c	18
6 - 8	a	4	18 - 20	a	10
	b	6		b	15
	c	8		c	20
8 - 10	a	5	>20	a	12
	b	7		b	18
	c	10		c	25
10 - 12	a	6			
	b	9			
	c	12			

Для расчета суммы баллов необходимо сложить баллы, полученные за мощность зоны аэрации, и баллы за мощности имеющихся в разрезе слабопроницаемых пород. Например, если грунтовые воды залегают на глубине 14 м (2 балла) и имеется слой супеси 3 м (2 балла) и слой глины 6 м (6 баллов), то сумма баллов составит 10. По сумме баллов выделяются шесть категорий защищенности грунтовых вод.

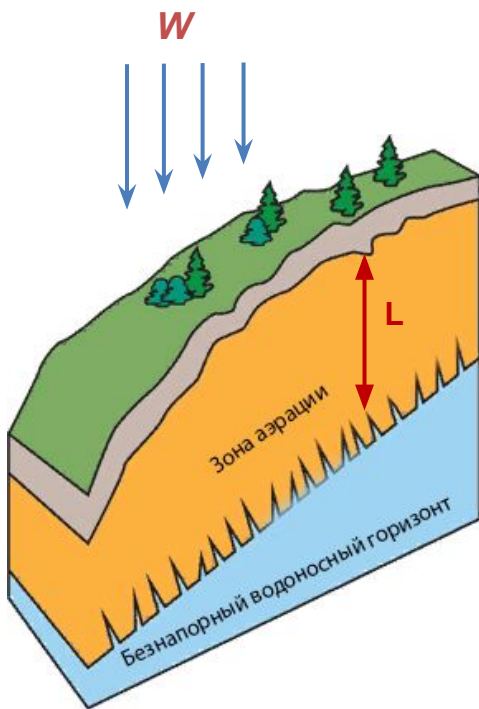
Категории защищенности грунтовых вод по В.М.Гольдбергу

Категория	Сумма баллов
I	<5
II	5 - 10
III	10 - 15
IV	15 - 20
V	20 - 25
VI	>25

Наименьшей защищенностью характеризуются условия, соответствующие категории I, наибольшей - категории VI

Как количественно оценить защищенность?

Вариант 1: зона аэрации в безнапорном пласте



Защищенность определяется временем (t_0) просачивания с поверхности загрязнения по вертикали до эксплуатируемого водоносного горизонта.

Если $t_0 > 400$ сут., то водоносный горизонт считается защищенным.

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА: $W = 15\%$ ОТ СУММЫ ГОДОВЫХ ОСАДКОВ

При $W < Kf$

$$t_0 \approx \frac{L * n}{\sqrt[3]{W^2 * Kf}}$$

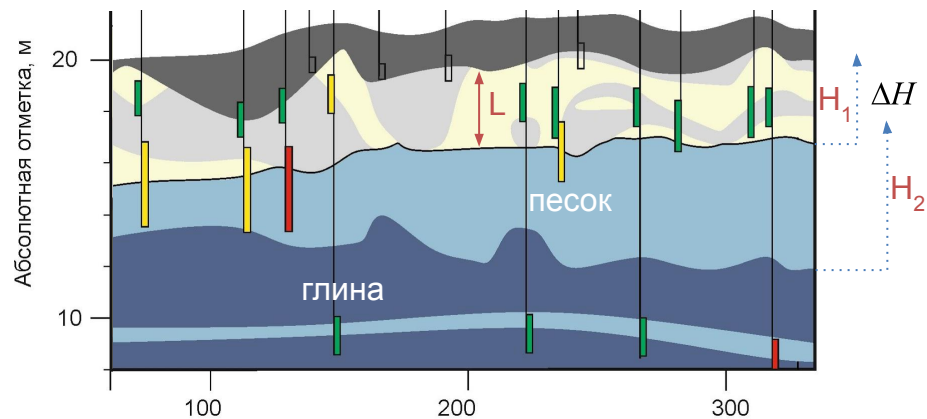
При $W > Kf$

$$t_0 \approx \frac{L * n}{Kf}$$

W – величина инфильтрационного питания, м/сут
 L – мощность зоны аэрации, м
 n – активная пористость, м³/м³
 Kf – коэффициент фильтрации зоны аэрации, м/сут
 t_0 – время просачивания, сут

Как оценить защищенность?

Вариант 2: не выдержанный водоупор



$$t_0 \equiv \frac{L^2 * n}{Kf * \Delta H}$$

Kf – коэффициент фильтрации верхнего слоя;

ΔH – разность напоров между водоносными горизонтами;

n – активная пористость пород верхнего слоя;

L – мощность верхнего слоя.

Защищенность – это только про 1 и 2 пояс ЗСО!

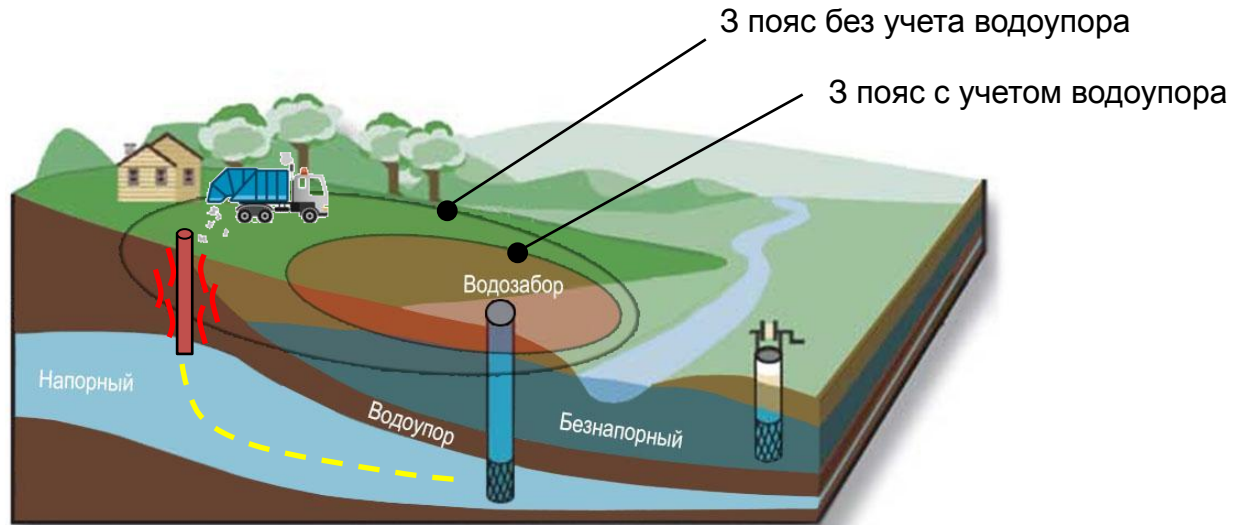
Граница первого пояса устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора - при использовании защищенных подземных вод и на расстоянии не менее 50 м - при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

Граница второго пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами. Для защищенных горизонтов $T_m = 100$ или 200 сут. Для недостаточно защищенных $T_m = 400$ сут. При сокращении второго пояса ЗСО можно учитывать в расчетах время просачивания (t_0).

**ГРАНИЦЫ ТРЕТЬЕГО ПОЯСА ЗСО
РАСЧИТЫВАЮТСЯ
БЕЗ УЧЕТА ВРЕМЕНИ ПРОСАЧИВАНИЯ (t_0)**

Почему для 3 пояса ЗСО не учитывают защищенность?

Внутри каждого пояса ЗСО накладываются обременения на определенные виды деятельности. Расчет 3 пояса предполагает консервативный подход без учета времени проникновения загрязнения через водоупор в подземные воды. Вводимые обременения позволяют исключить **риск нарушения сплошности водоупорного слоя**.



Методы расчета ЗСО

Границы ЗСО определяются гидродинамическими расчетами

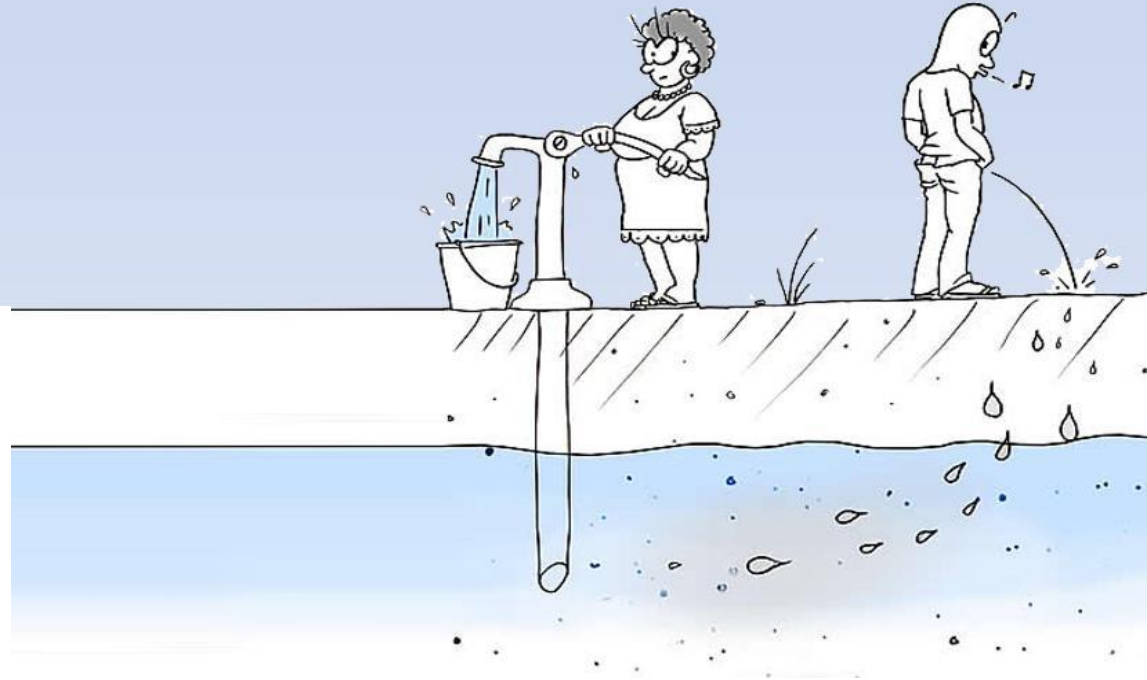
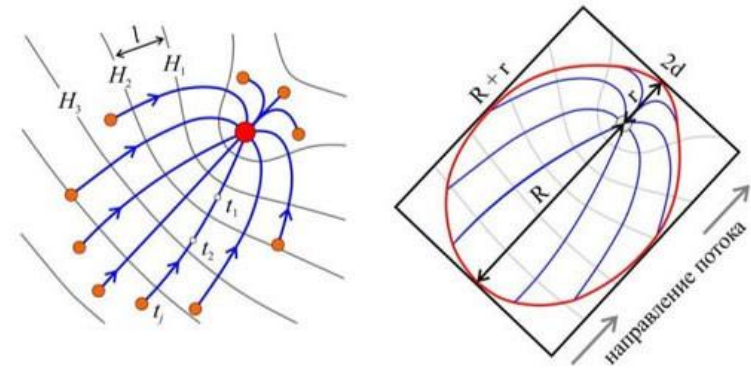
Рекомендации ВОДГЕО (1983 г) для 2 и 3 пояса ЗСО предлагают проводить расчеты 4 способами:

В ручную

- (1) Геометрический метод
- (2) Аналитический метод

На специальных программах:

- (3) Графоаналитический метод
- (4) Численные расчеты



4.6 Методические рекомендации: ручной расчет

(1) Геометрический метод

Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. ВНИИ ВОДГЕО 1983 г.

Расчет размеров второго и третьего поясов ЗСО, без учета естественного потока подземных вод, для неограниченного пласта, можно проводить используя следующую формулу:

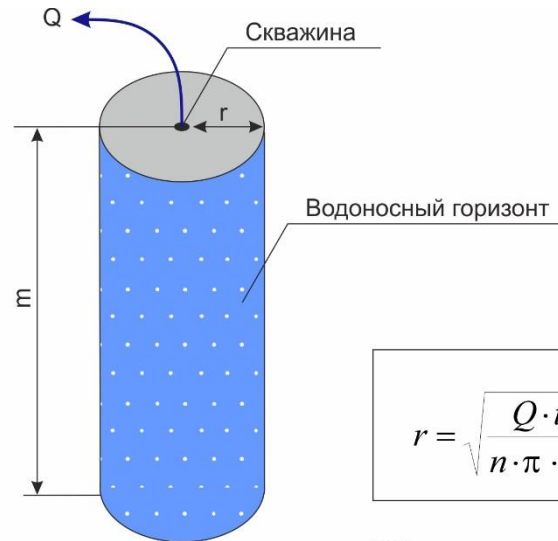
$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot \pi \cdot m}}$$

+

не нужна информация о коэффициенте фильтрации, о направлении потока и его градиенте.

-

в природе практически не встречаются такие условия, когда естественным потоком подземных вод можно пренебречь. Формула может работать в случае низких градиентов потока и высоких дебитов откачивающих скважин.



$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot \pi \cdot m}}$$

где

Q - расход скважины, м³/сут

t - время работы водозабора, сут

n - активная пористость, м³/м³

m - мощность водоносного горизонта, м

r - длина ЗСО, м

$$\underbrace{Q \cdot t}_{\text{Объем откаченной воды}} = \underbrace{n \cdot \pi \cdot m \cdot r^2}_{\text{Объем цилиндра}}$$

Объем
откаченной воды

Объем
цилиндра

Ручной расчет ЗСО

(2) Аналитический метод

Пример: расчет ЗСО для напорного неограниченного пласта

$$X_p = \frac{Q}{2\pi kmI}$$

$$\bar{T}_{2,3} = \frac{kIT_{2,3}}{nX_p}$$

$$\bar{T}_{2,3} = \bar{R}_{2,3} - \ln(1 + \bar{R}_{2,3}) \quad R_{2,3} = \bar{R}_{2,3} * X_p$$

$$\bar{T}_{2,3} = -[\ln(1 - \bar{r}_{2,3}) + \bar{r}_{2,3}] \quad r_{2,3} = \bar{r}_{2,3} * X_p$$

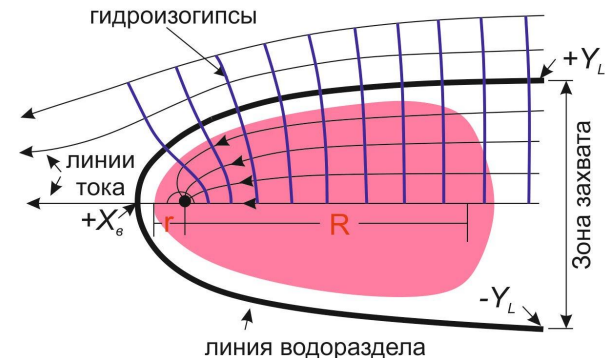
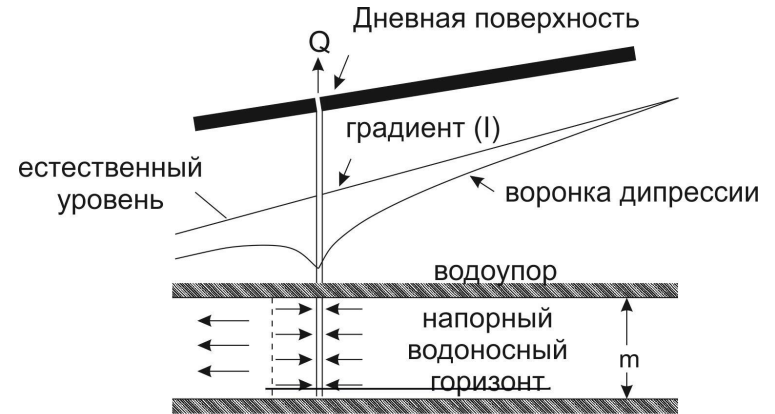
$$d_{2,3} = \frac{2T_{2,3}Q}{\pi mn(R_{2,3} + r_{2,3})}$$

+

Можно посчитать в ручную. Точное аналитическое решение.

-

Во многих случаях допущены ошибки при выводе уравнения. Ограниченное количество схем для расчета ЗСО.



Проверка решений из методического руководства ВОДГЕО

Пример 1. Одиночный водозабор в удалении от реки

Тип расчета	Пояс	Размер поясов ЗСО, м			Расхождение с AMWELLS, %			Исходные параметры	Ссылка на расчет	Примечание
		R	r	2d	R	r	2d			
AMWELLS	III	2983	167	950				Q=1000 м ³ /сут, m=20 м, k= 50 м/сут, n=0,2, i=0,001	4_1_2-in.docx	
PMPATH	III	2957	166	920	1	1	3		4_1_2.dxf	
Методическое руководство	III	2960	160	1000	1	4	-5		Разд. 4.1.2. стр.80	

Пример 2. Линейный кустовой водозабор в удалении от реки

Тип расчета	Пояс	Размер поясов ЗСО, м			Расхождение с AMWELLS, %			Исходные параметры	Ссылка на расчет	Примечание
		R	r	2d	R	r	2d			
AMWELLS	III	3826	1139	5396				Q=1500x7 м ³ /сут, m=25 м, k= 80 м/сут, n=0,2, i=0,0005, L=300x6 м	4_2_2-in.docx	
PMPATH	III	3790	1178	5355	1	-3	1		4_2_2.dxf	
Методическое руководство	III	3700	1260	5400	3	-11	0		Разд. 4.2.2. стр.85	

Пример 3. Одиночный водозабор вблизи реки. Поток направлен к реке.

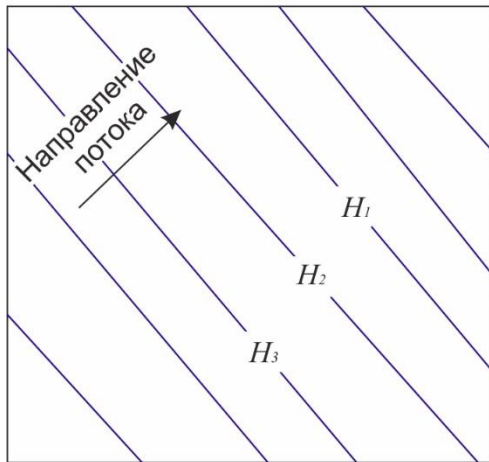
Тип расчета	Пояс	Размер поясов ЗСО, м			Расхождение с AMWELLS, %			Исходные параметры	Ссылка на расчет	Примечание
		R	r	2d	R	r	2d			
AMWELLS	II	184	100	324				Q=2000 м ³ /сут, m=30 м, k= 30 м/сут, n=0,25, i=0,001, Xo=100 м	3_1_1_3-in.docx	
	III	1497	100	955					3_1_1_3(400).dxf	
PMPATH	II	182	100	323	1	0	0		3_1_1_3(10000).dxf	
	III	1498	100	944	0	0	1			
Методическое руководство	II	173	100	320	6	0	1		Разд. 3.1.1.3, стр. 35	Испр. R=48+125=173
	III	1500	100	1000	0	0	-5			

Расчеты на специализированном ПО

(3) Графоаналитический метод

Вычитаем из естественных напоров понижение уровней от работы скважины. Далее строим линии тока и рассчитываем времена миграции трассера.

а) Поле естественных напоров



Естественные напоры снимаем с карты гидроизогипс

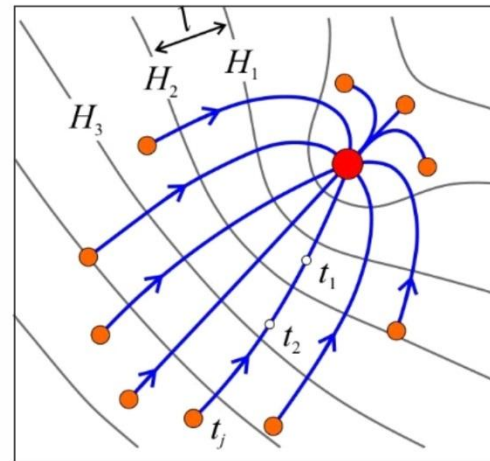
б) Депрессионная воронка от откачки



Решение Тейса для скважины

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}\right)$$

в) линии тока в нарушенных напорах

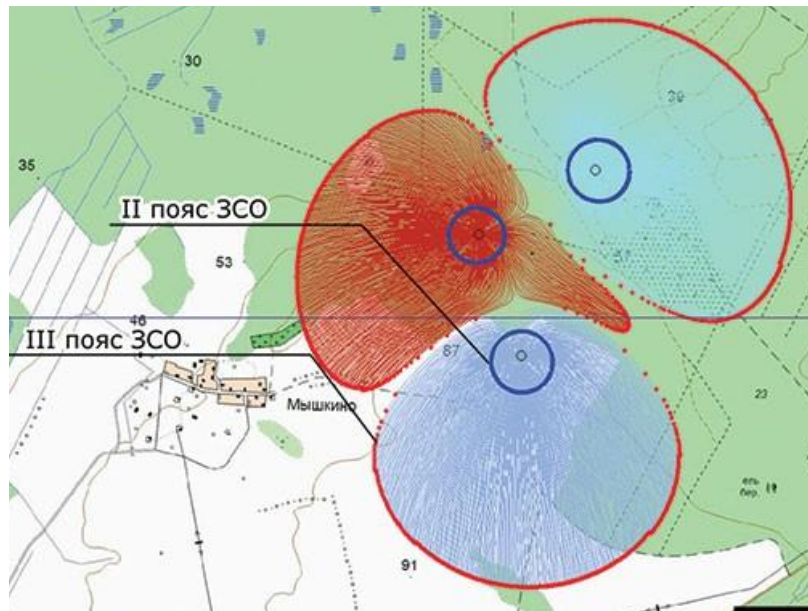


Рассчитываем скорость из Дарси

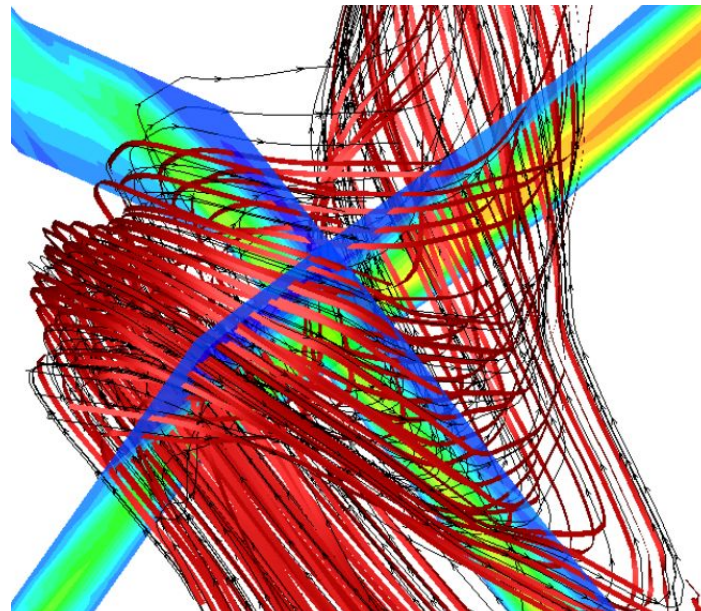
$$u = k \cdot I / n \quad I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Аналитические и численные модели для расчета ЗСО

Аналитические модели расчеты на плоскости

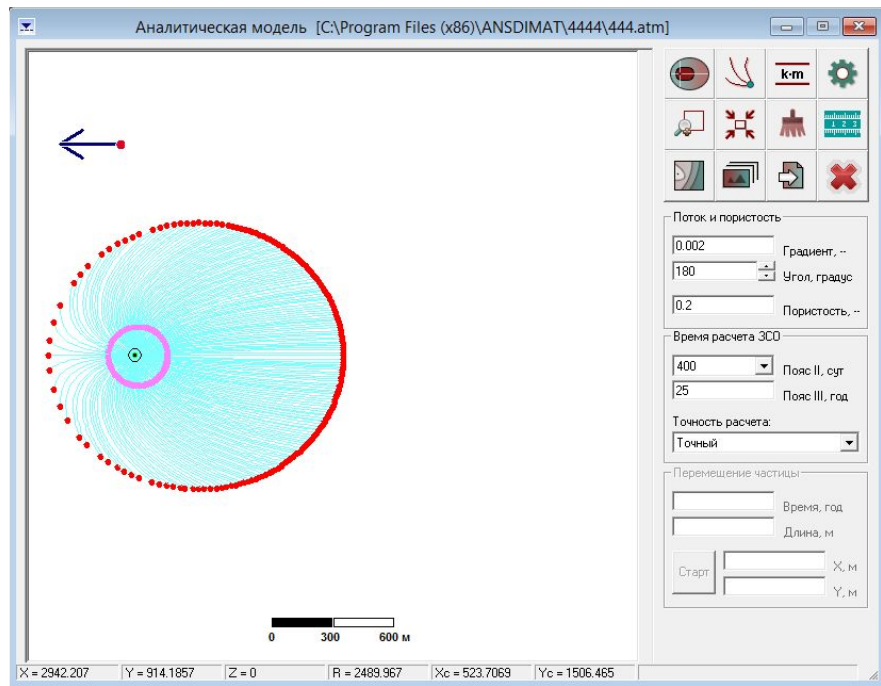


Численные модели расчеты в 3d пространстве



Расчет ЗСО на программе ANSDIMAT

ansdimat.com/ru/amwells.shtml



$Q=500$ м³/сут

$m=15$ м

$n=0.2$

$k=5$ м/сут

$I=0.002$

Направление на запад

Способы сокращения ЗСО

Подходы к сокращению ЗСО водозаборов

Как управлять размерами ЗСО?

Кoeffициент
фильтрации

Градиент
потока

$$u = k \cdot I / n$$

Скорость
миграции

Активная
пористость

The diagram shows the equation $u = k \cdot I / n$ enclosed in a red rectangular box. Four blue lines point from the labels to the variables: 'Кoeffициент фильтрации' points to 'k', 'Градиент потока' points to 'I', 'Скорость миграции' points to 'u', and 'Активная пористость' points to 'n'.

1. Увеличить активную пористость
2. Уменьшить градиент потока
3. Уменьшить расход водозабора
4. Увеличить мощность водоносного горизонта
5. Увеличить коэффициент фильтрации
6. Уточнить направление потока

Не стандартные подходы к сокращению ЗСО

В расчетах учесть природные механизмы реабилитации и сдерживания загрязнения для конкретных типов загрязнителей. Например, такие как сорбция и распад (деструкция).

Скорость миграции (u)

Коэффициент фильтрации
Градиент потока

$$u = \frac{k \cdot I}{n \cdot R}$$

Активная пористость
Фактор задержки

Фактор сорбционной задержки (R)

Коэффициент сорбционного распределения
Плотность скелета породы

$$R = 1 + \frac{k_d \cdot \rho_b}{n}$$

Скорость распада ($T_{1/2}$)

Полная деструкция вещества на момент времени:

$$T = 10 * T_{1/2}$$

Время наступления полной аннигиляции
Период полураспада вещества

Например: K_d меди равняется $40 \text{ см}^3/\text{г}$. Рассматривается миграция меди в водоносном горизонте, сложенном песками с плотностью скелета $1,7 \text{ г}/\text{см}^3$ и активной пористостью $0,3$. В таком случае фактор задержки $R=1+(40*1.7/0,3)= 228$. **Таким образом, медь будет мигрировать в водоносном горизонте в 228 раз медленнее, чем инертный трассер.**

Проблемы, возникающие при выполнении СанПиН-а 2.1.4.1110-02

- 1 назначаемый большой размер I пояса ЗСО (значимый участок территории, который должен находиться в собственности недропользователя);
- 2 область действия СанПиН распространяется на нецентрализованное водоснабжение;
- 3 необходимость согласования перечня предусмотренных мероприятий по ЗСО водозабора с землепользователями, которые пользуются земельными участками в расчетных границах второго и третьего поясов ЗСО (устарело, законодательством предусмотрена процедура установления обременений на такие земельные участки);
- 4 в СанПиН очень слабо прописаны требования к составу проекта;
- 5 не прописаны четко условия, при которых ЗСО могут быть сокращены или пересмотрены.