

ANSDIMAT

Analytical and **N**umerical **S**olutions **D**irect and **I**nverse **M**ethods for **A**quifer **T**est

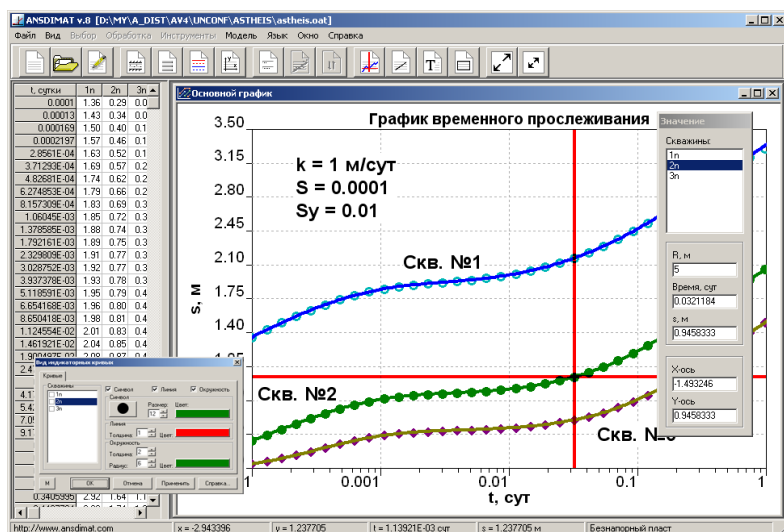
**Программный комплекс
для аналитической и численной обработки
опытно-фильтрационных опробований
прямыми и обратными методами**



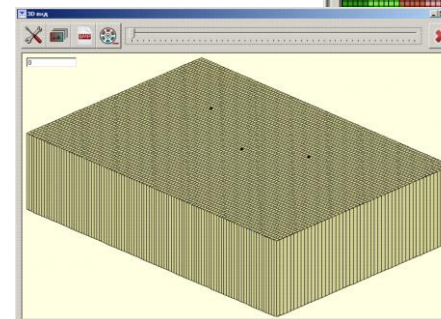
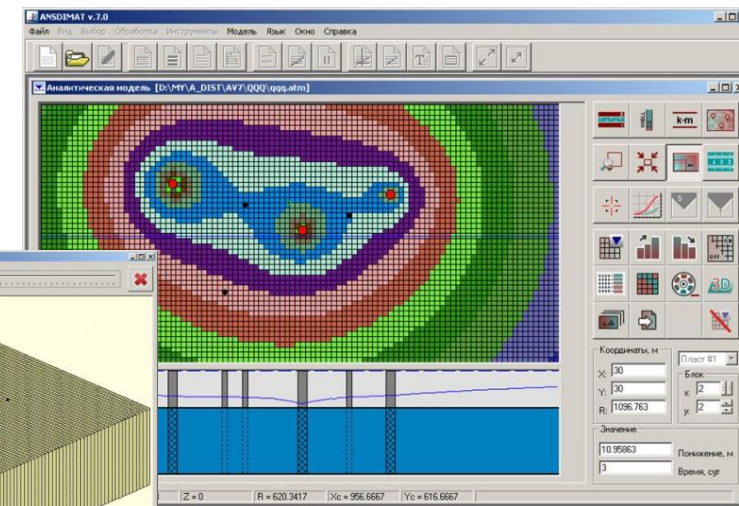
www.ansdimat.com

ANSDIMAT

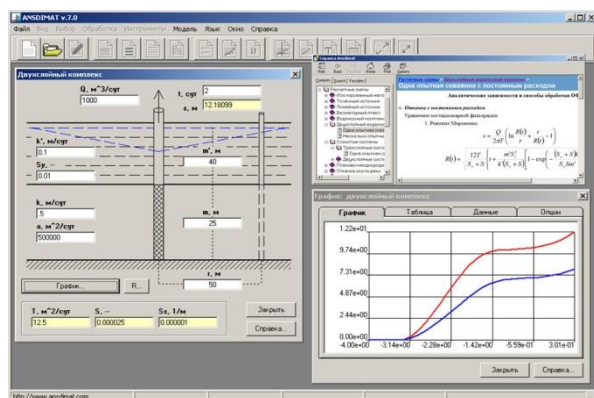
ANSDIMAT



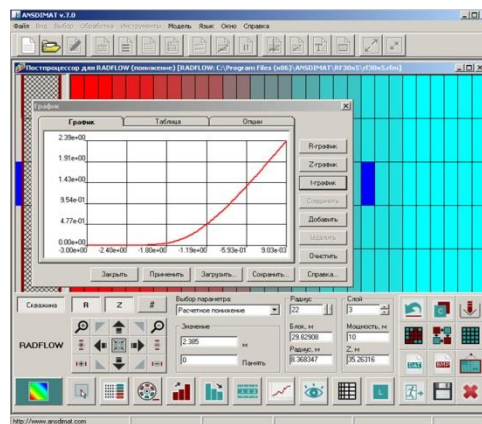
AMWELLS



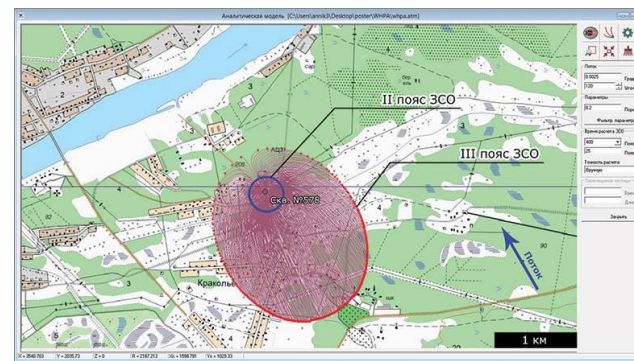
ANSQUICK



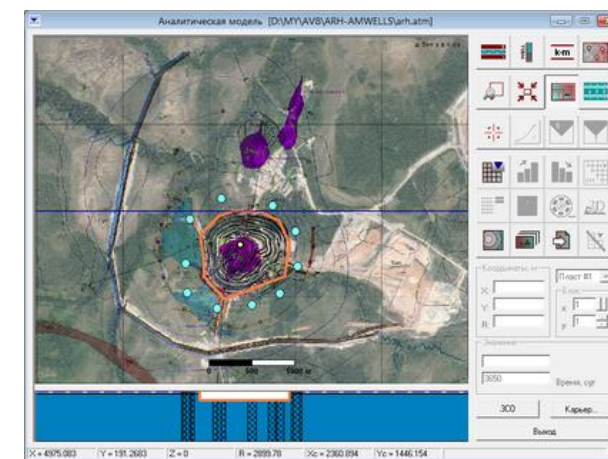
ANSRADIAL



ANSWHPA



ANSPLIT



Фильтрационные параметры

Обозначения

T – проводимость, $\text{м}^2/\text{сут}$

k – коэффициент фильтрации, $\text{м}/\text{сут}$

a – пьезопроводность / уровнепроводность, $\text{м}^2/\text{сут}$

S – водоотдача, –

μ (мю)

S_s – удельная водоотдача, $1/\text{м}$

η (эта)

S_y – гравитационная водоотдача, –

B – параметр перетекания, м

s – понижение / повышение, м

Q – расход, $\text{м}^3/\text{сут}$

ЗАВИСИМОСТИ

$$T = km$$

$$a = T / S = k / S_s$$

$$a = k\bar{m} / S_y$$

$$S = S_s m$$

$$B = \sqrt{\frac{Tm'}{k'}}$$

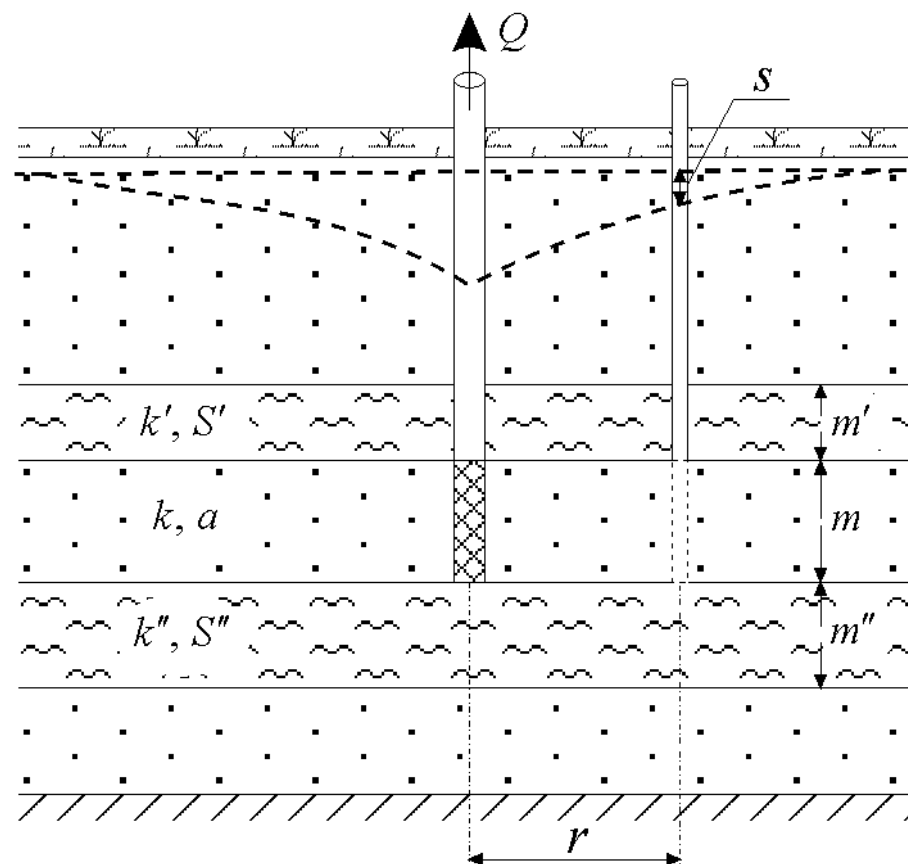
$$B = \sqrt{T \frac{m'm''}{k'm'' + k''m'}}$$

$$k = \frac{k_0 \rho g}{\mu}$$

$$S_s = \rho g [n\beta_w + (1-n)a_c]$$

$$S_s = \rho g [n\beta_w + \alpha]$$

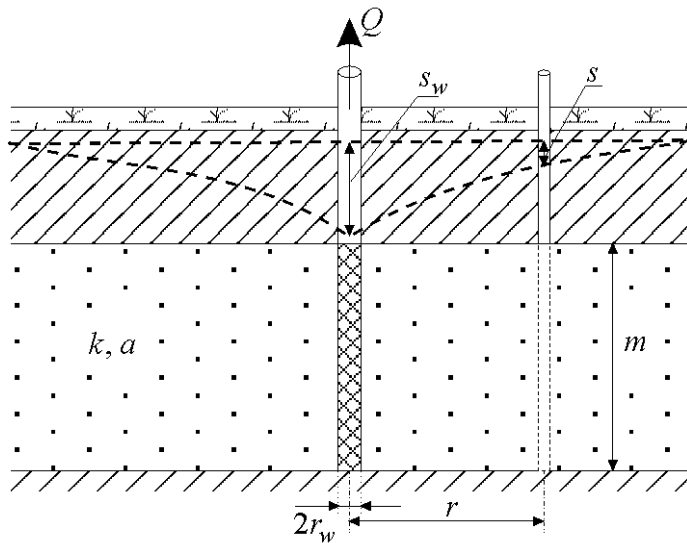
Типовые схемы



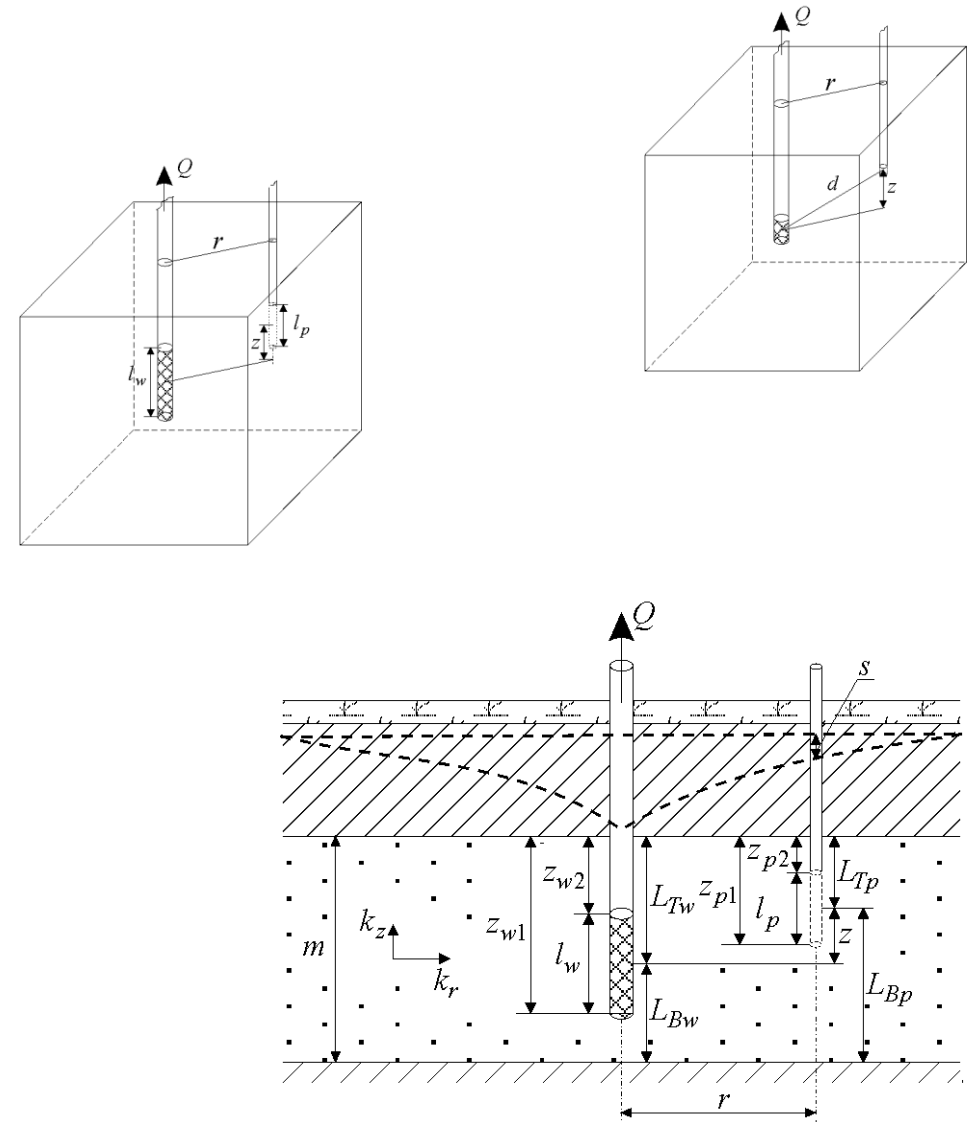
Напорный пласт

Скважина по степени вскрытия:

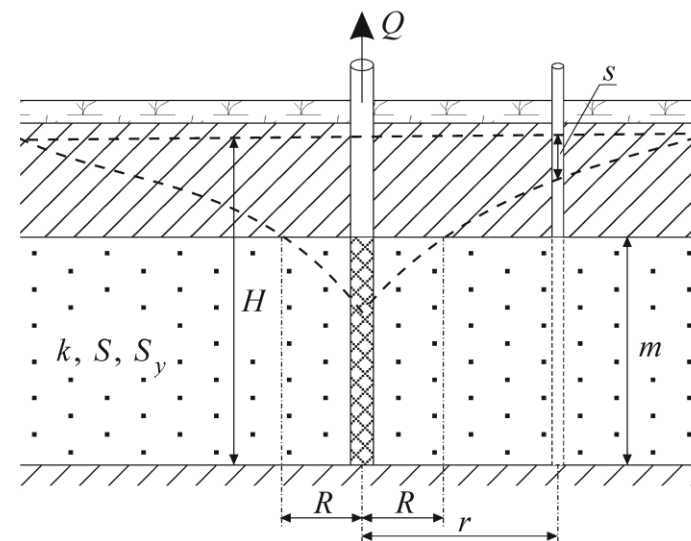
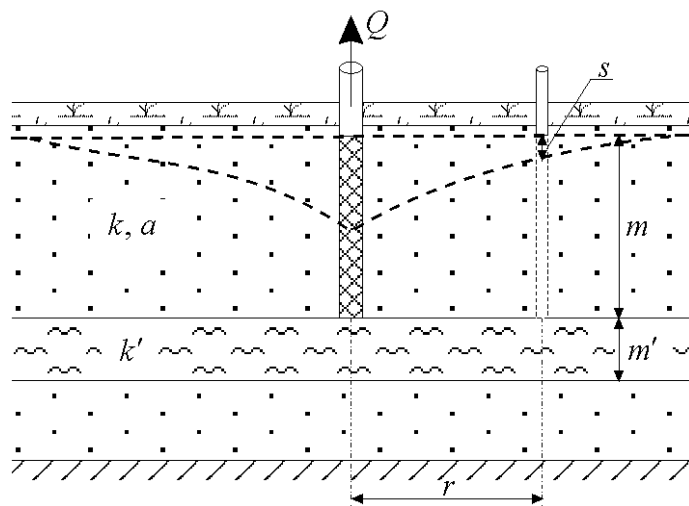
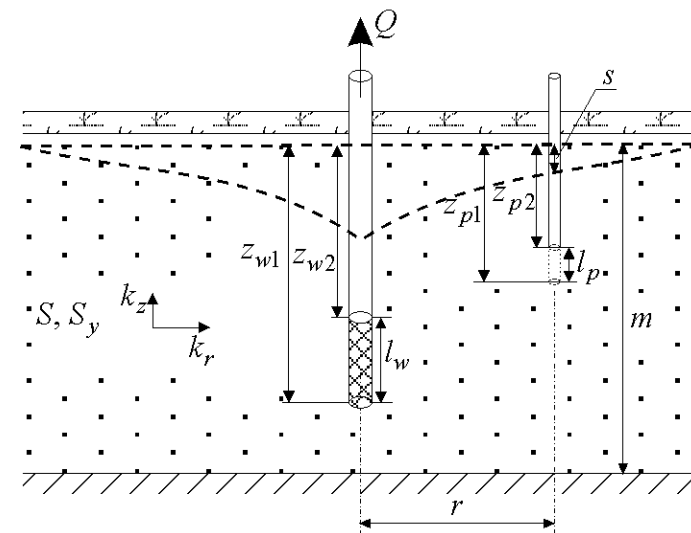
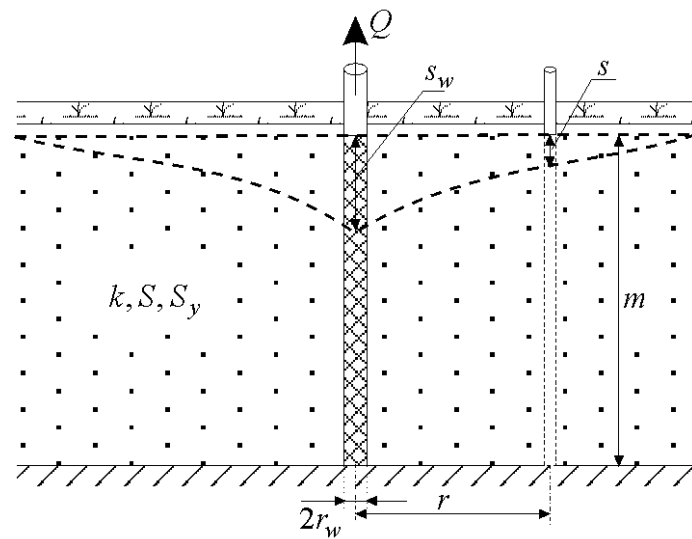
- совершенная скважина
- несовершенная скважина:
точечный источник, линейный источник



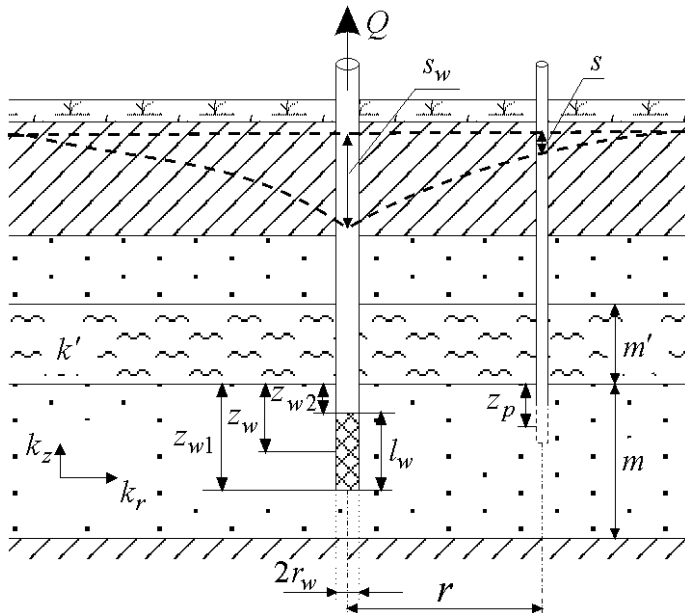
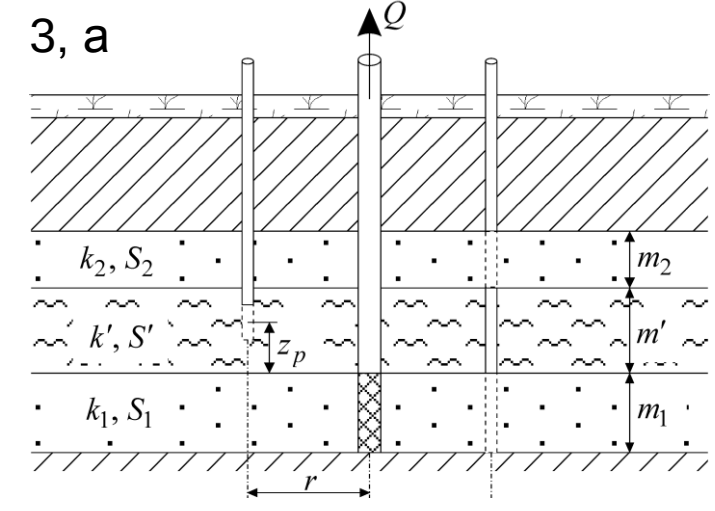
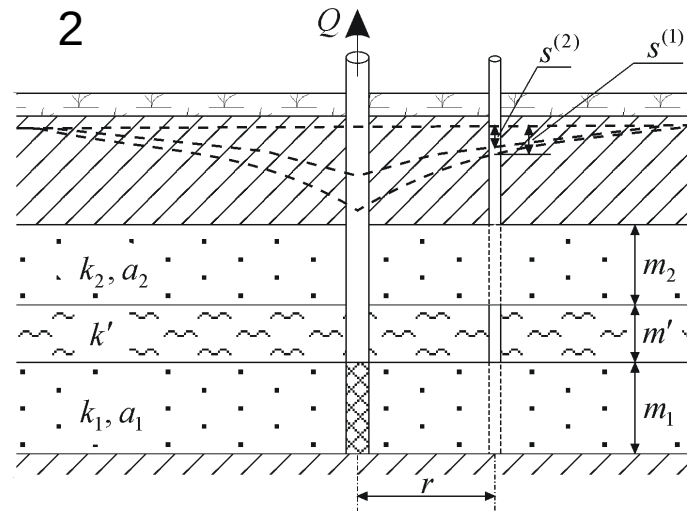
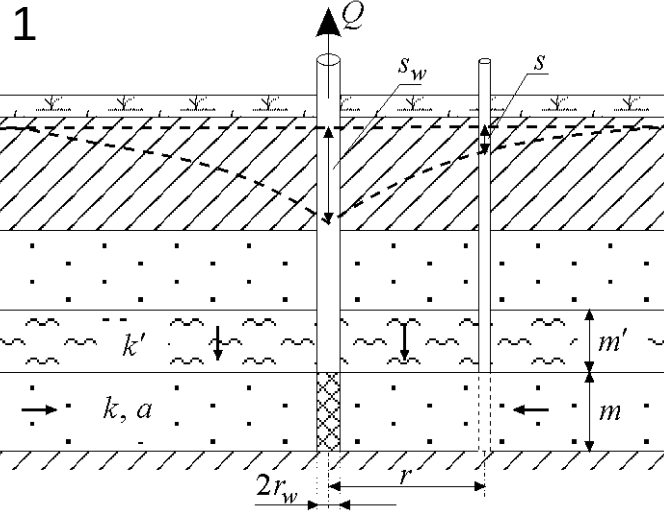
Пласт:
изотропный,
профильно-анизотропный,
планово-анизотропный



Безнапорный пласт



Водоносный комплекс с перетеканием



Уровень в смежном пласте:

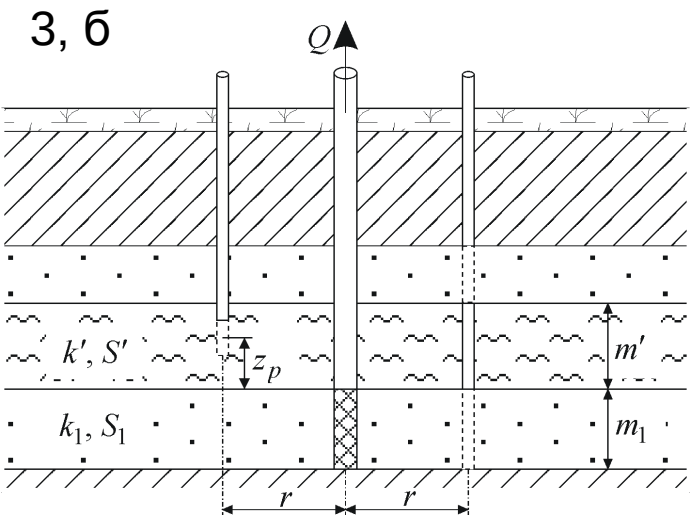
постоянный, изменяющийся

Емкость разделяющего слоя:

не учитывается, учитывается

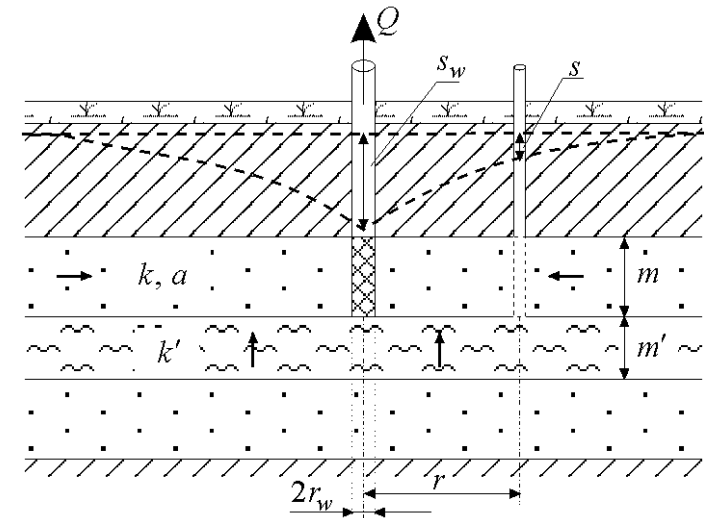
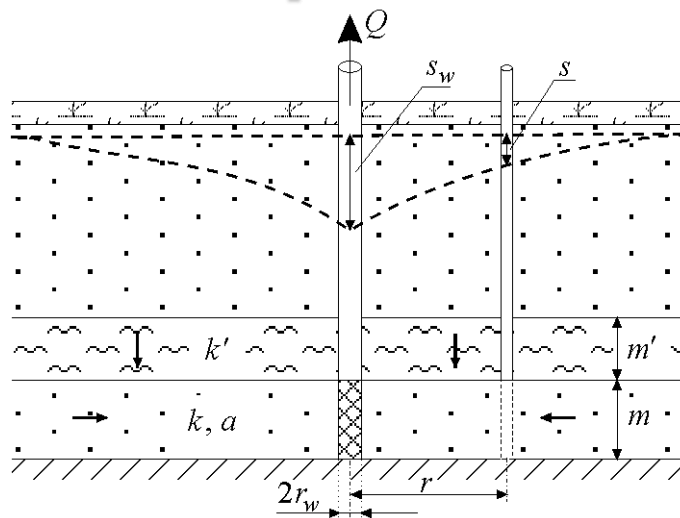
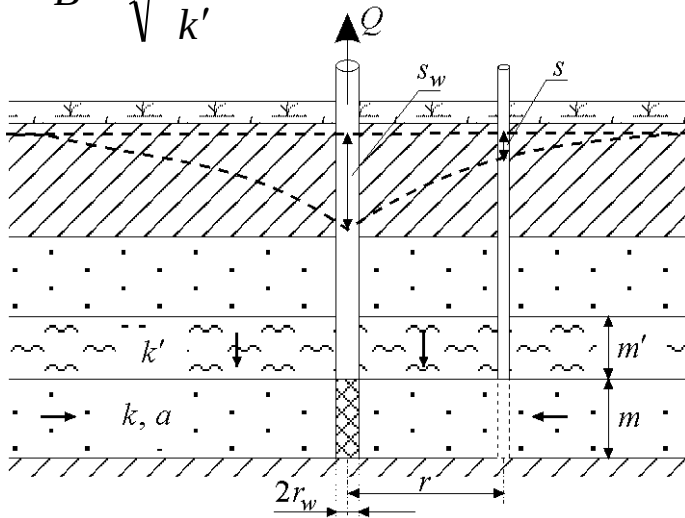
Понижение:

в основном пласте, в смежном пласте,
в разделяющем слое

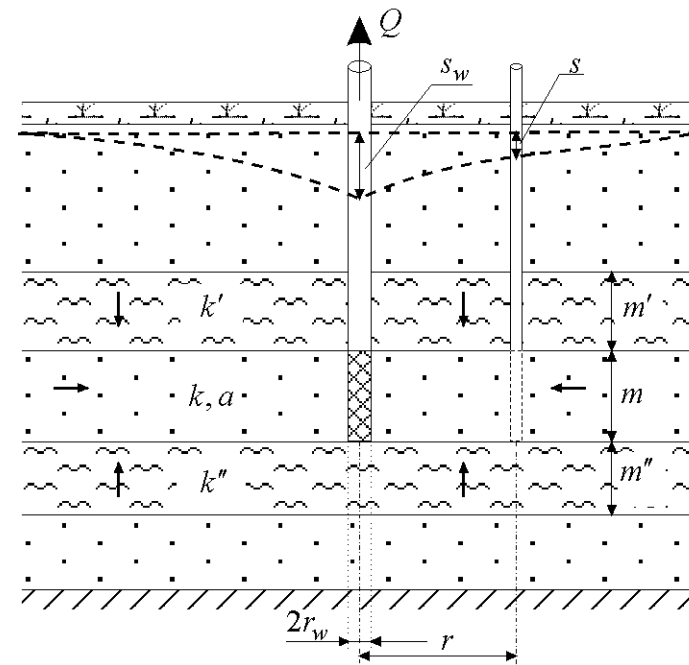
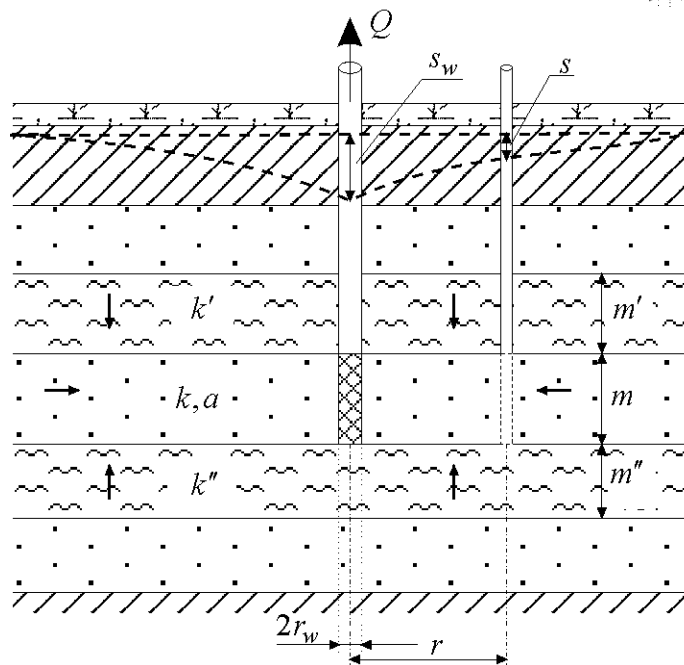


Водоносный комплекс с перетеканием: варианты

$$B = \sqrt{\frac{Tm'}{k'}}$$

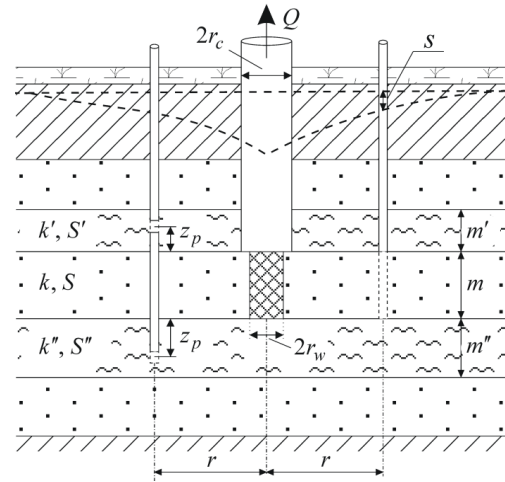
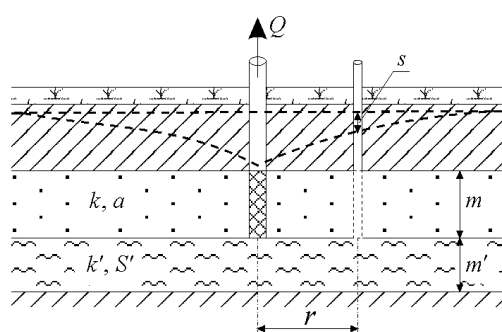
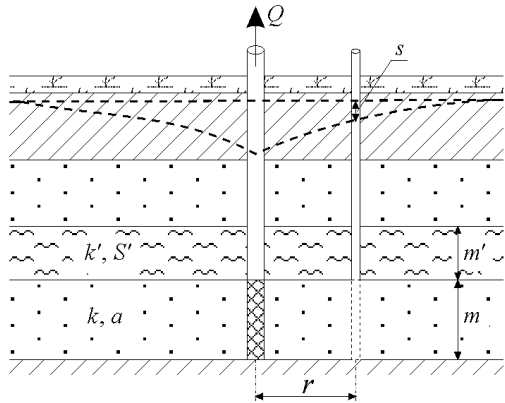


$$B = \sqrt{T \frac{m'm''}{k'm'' + k''m'}}$$



Слоистые системы

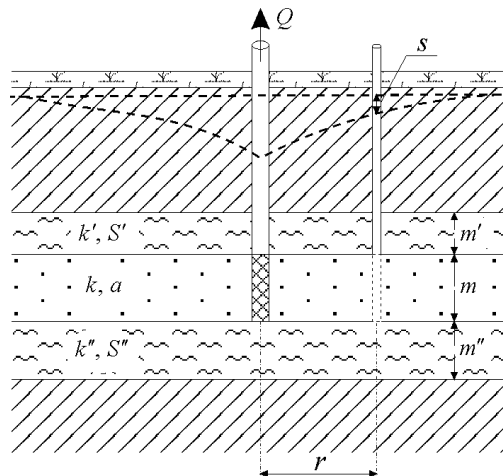
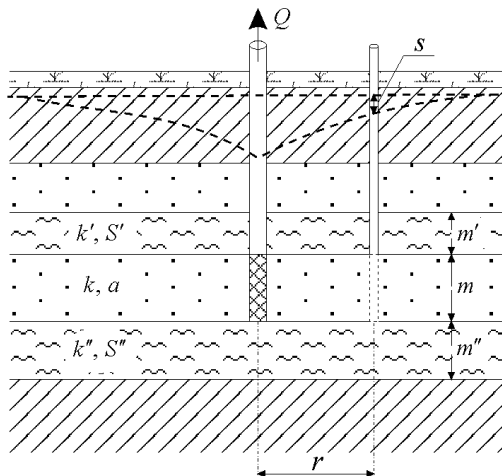
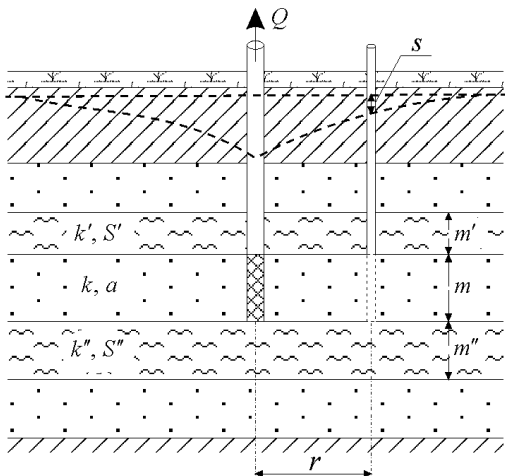
Двухслойные системы



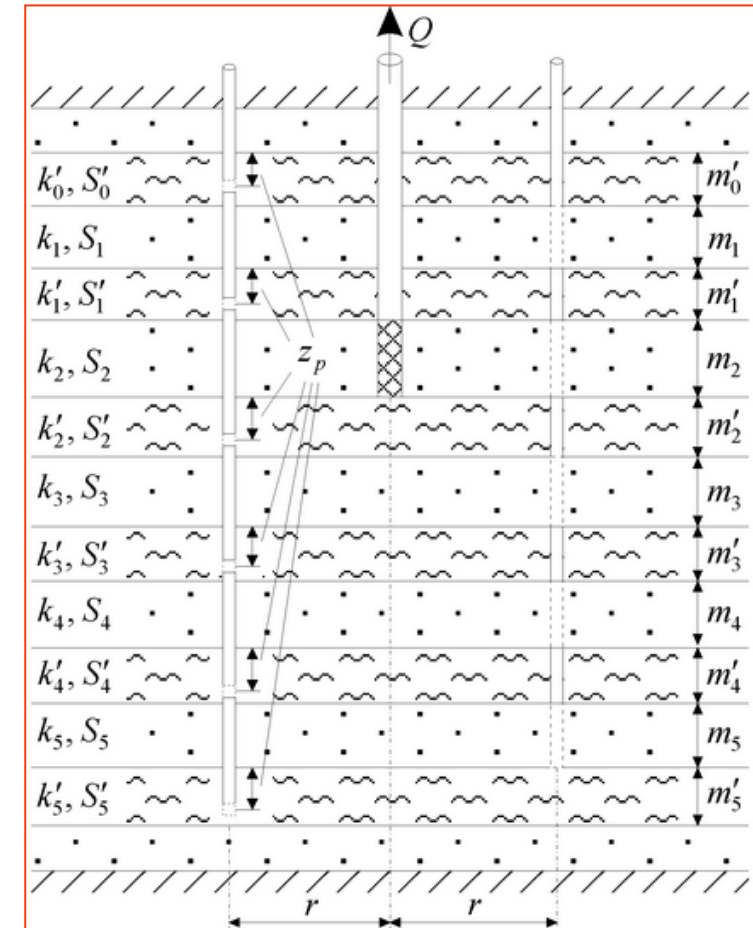
Условия:

- уровень в смежных пластах не меняется
- учитывается емкость разделяющего слоя
- понижение в основном пласте или в разделяющих слоях

Трехслойные системы

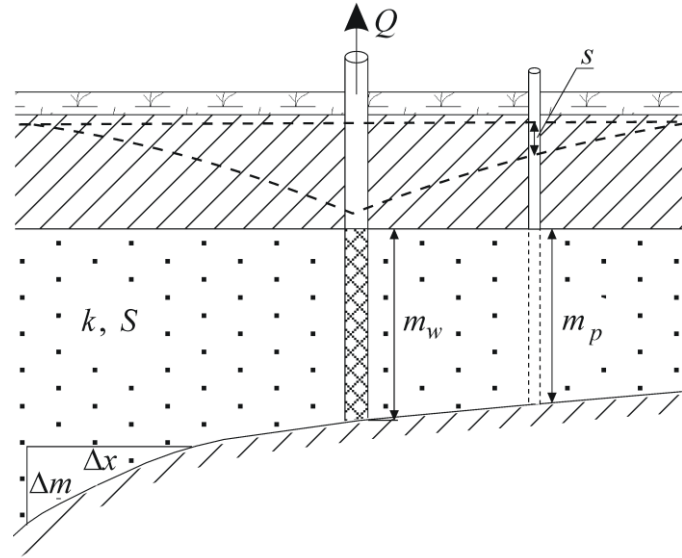


Многопластовая система

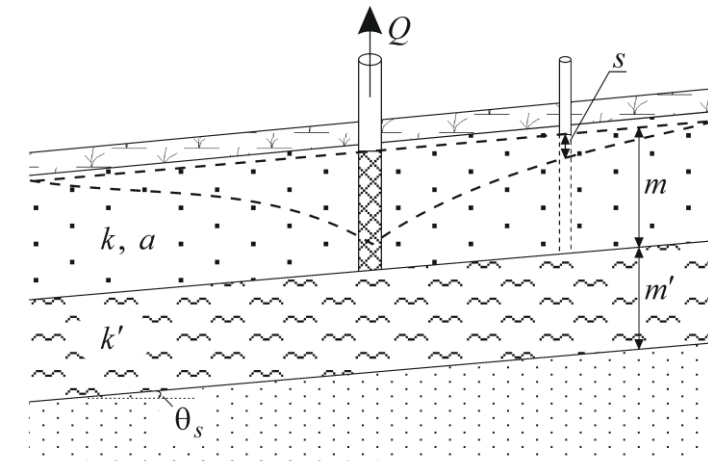
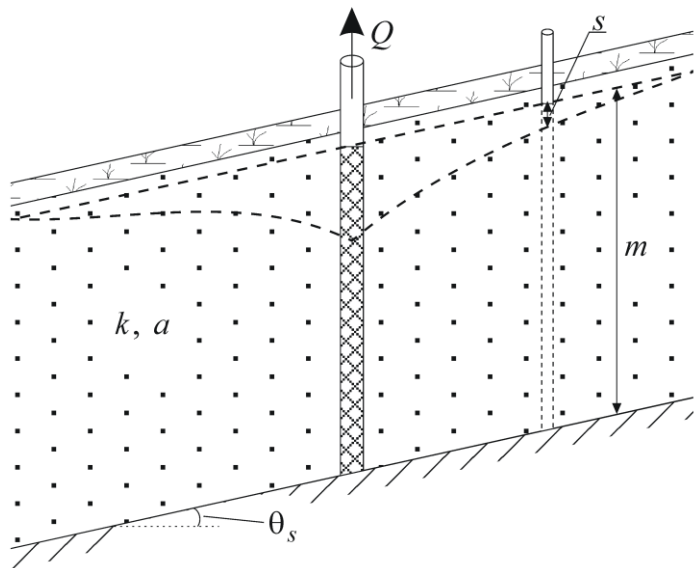


Наклонный пласт

Пласт переменной мощности

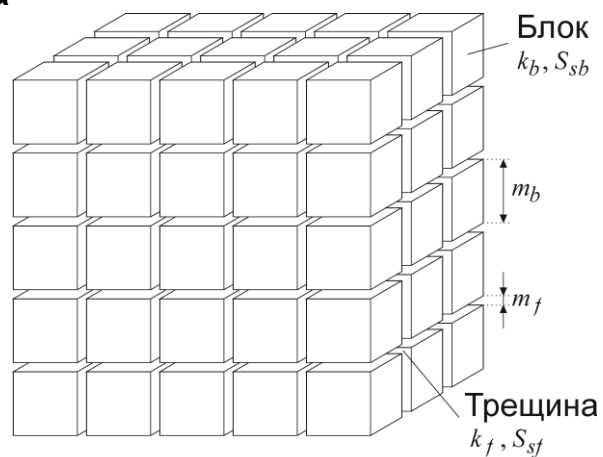


Наклонный пласт

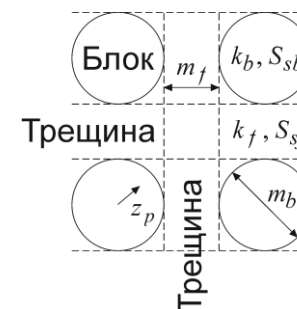


Трещиновато-пористая среда

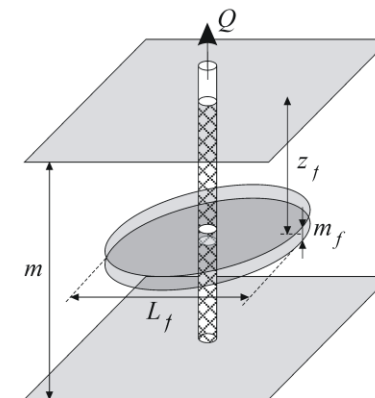
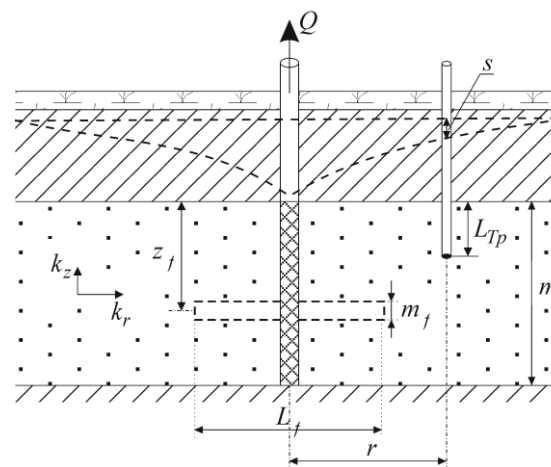
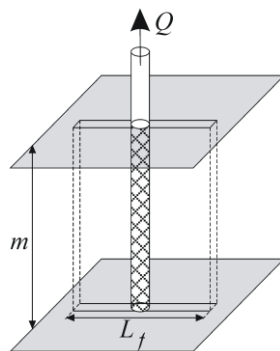
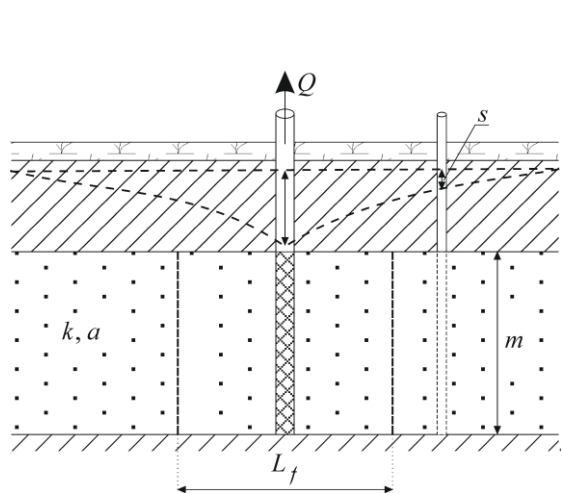
Решения Менча



Блок	k_b, S_{sb}	m_b
Трещина	k_f, S_{sf}	m_f
Блок	k_b, S_{sb}	m_b

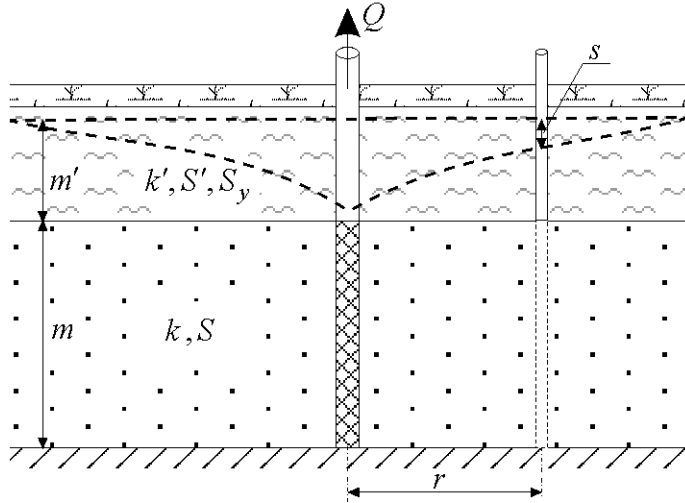


Скважина в одиночной трещине

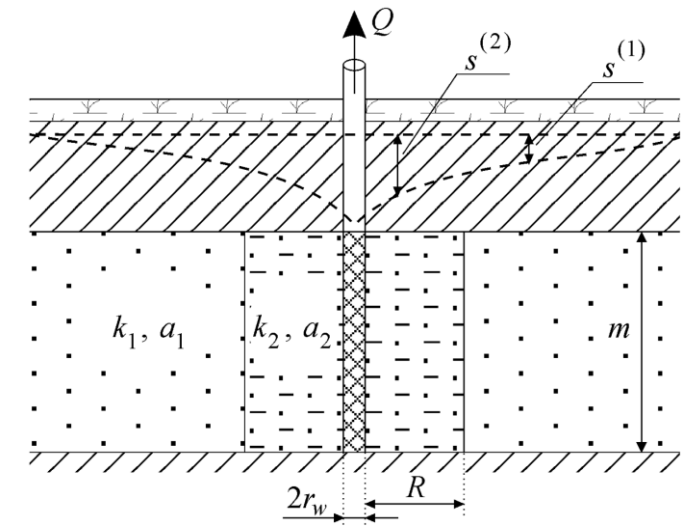
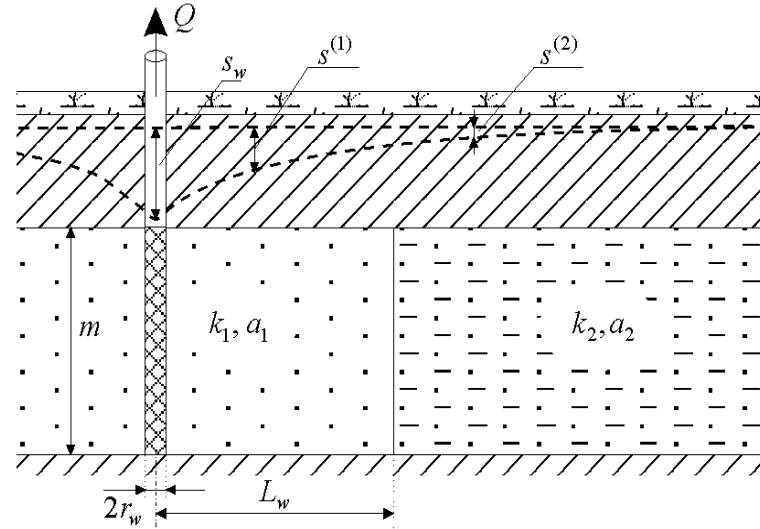


Другие схемы

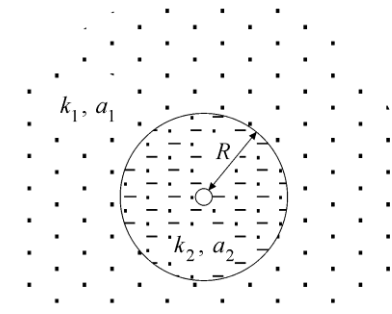
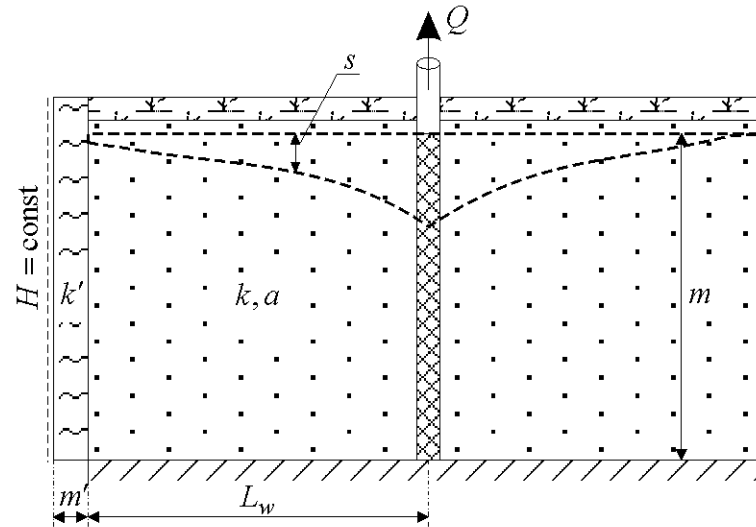
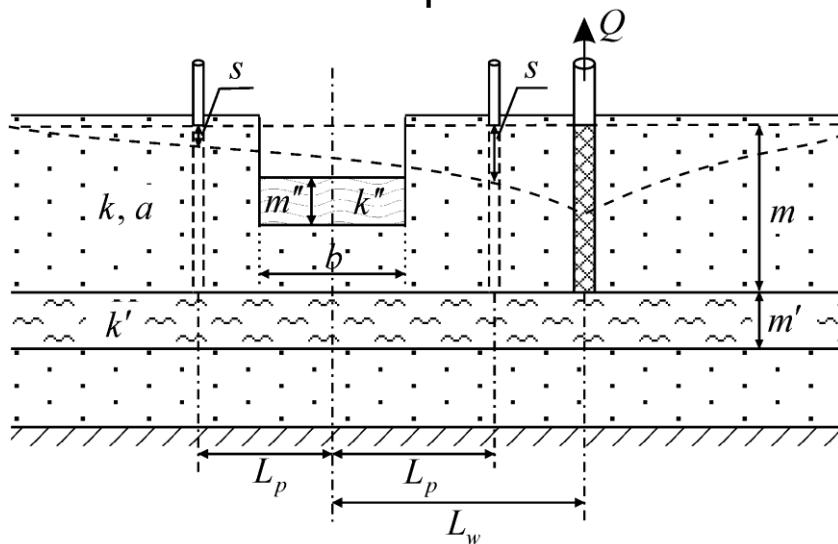
Двухслойный комплекс



Планово-неоднородный пласт



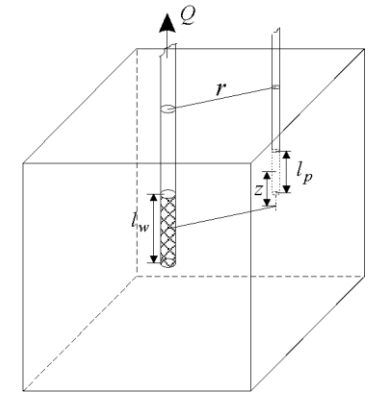
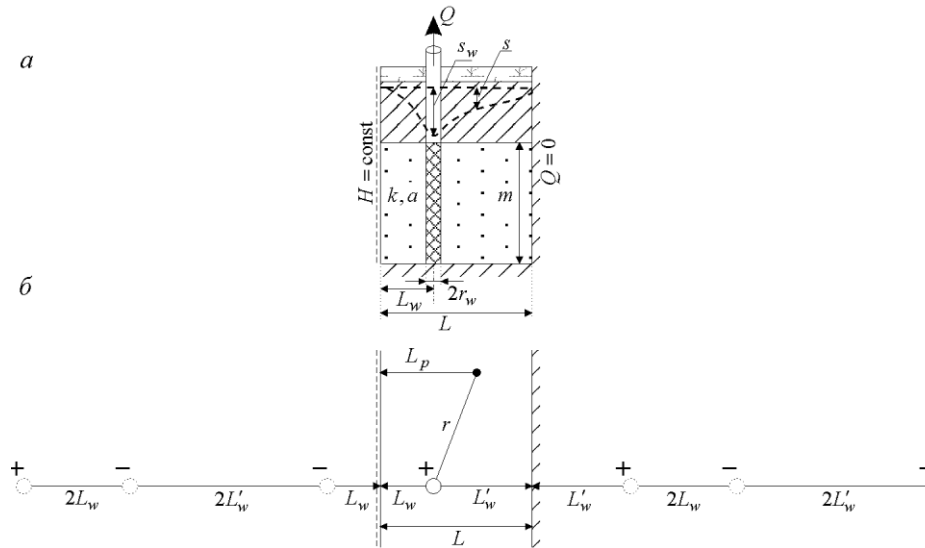
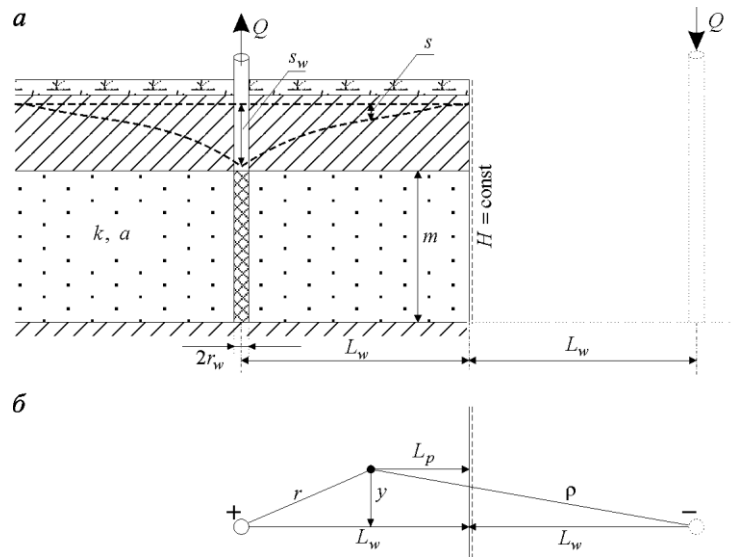
Откачка вблизи реки



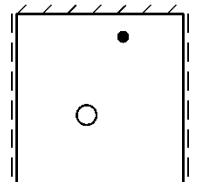
Границы фильтрационного потока

Водоносный пласт (в плане и/или в разрезе):

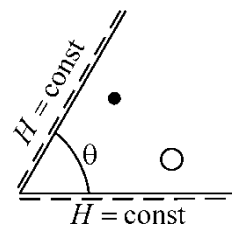
- неограниченный
- полуограниченный (условие I или II рода)
- пласт-полоса (условия I рода, II рода или смешанные условия)



U-образный пласт



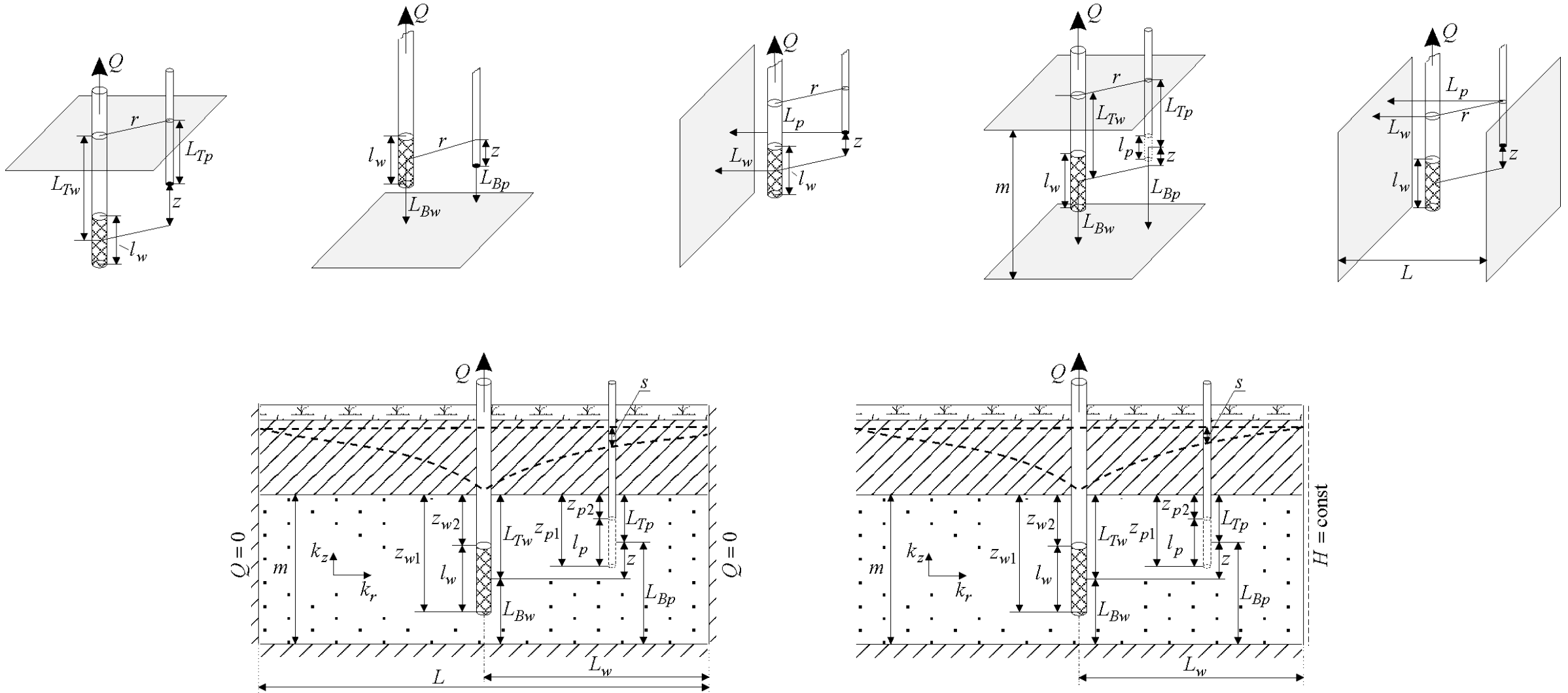
Угловой пласт



Учитывается:

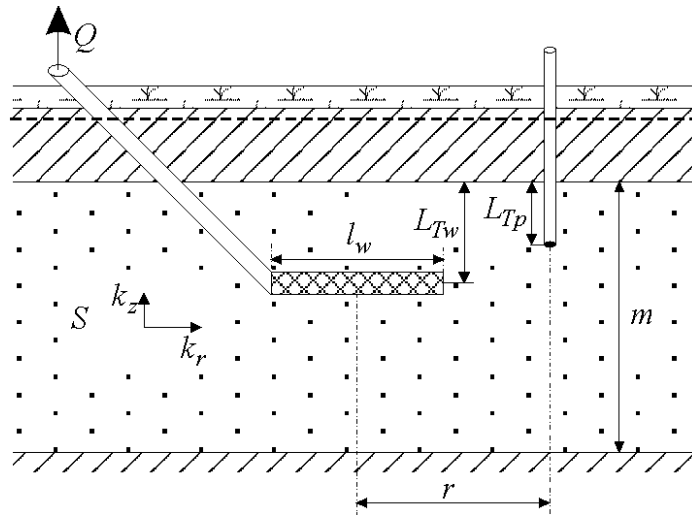
- напорный пласт (совершенная скважина, линейный источник, точечный источник)
- безнапорный пласт
- водоносный комплекс с перетеканием с постоянным уровнем в смежном пласте
- многослойная система

Границы фильтрационного потока: примеры

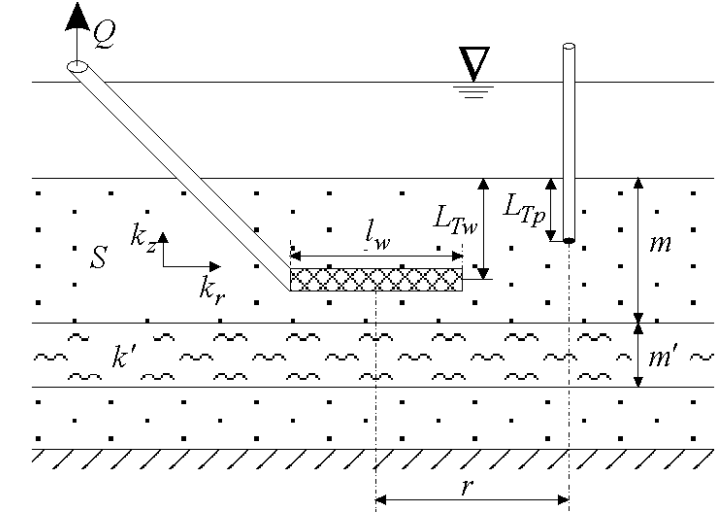
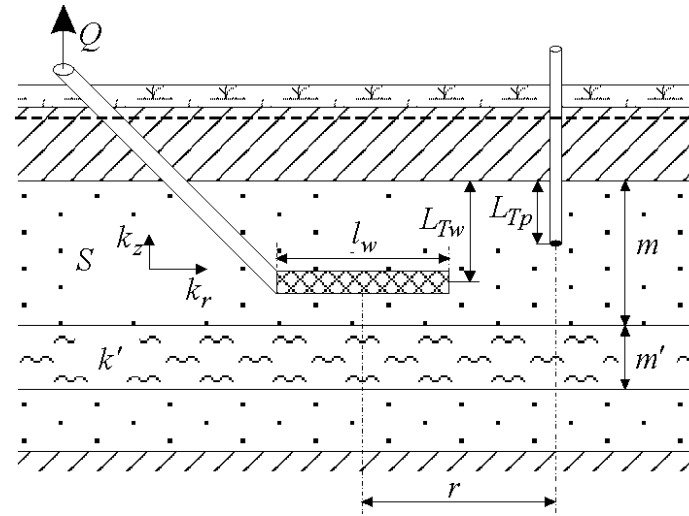


Горизонтальные скважины

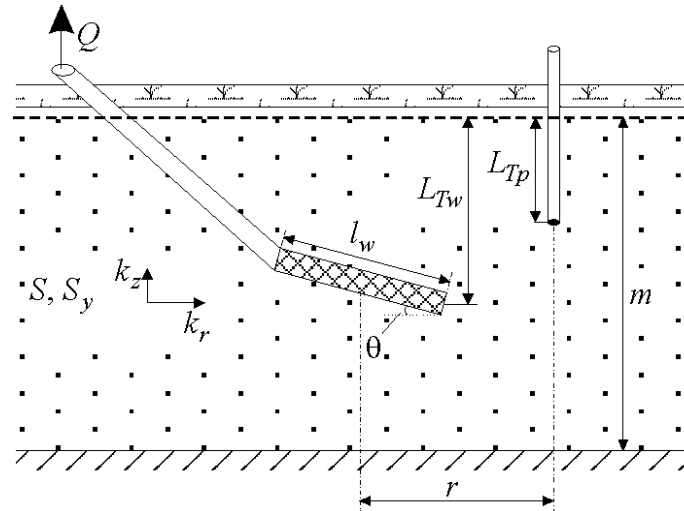
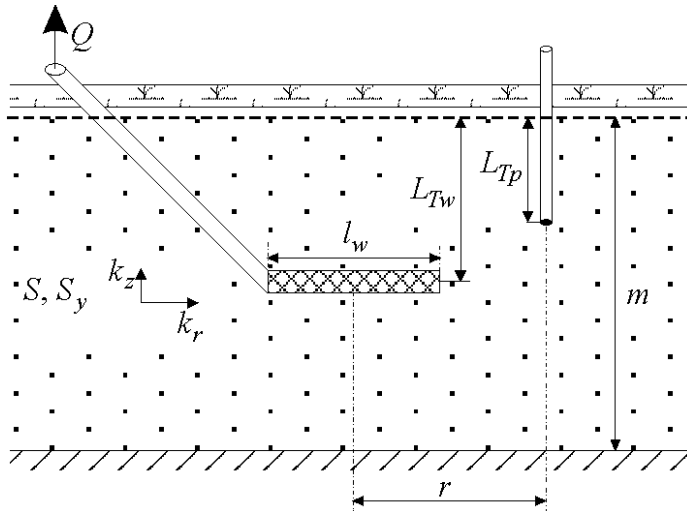
Напорный пласт



Водоносный комплекс с перетеканием



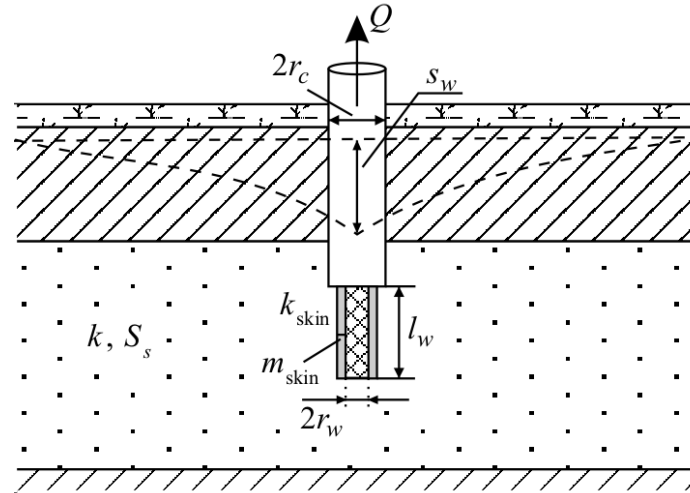
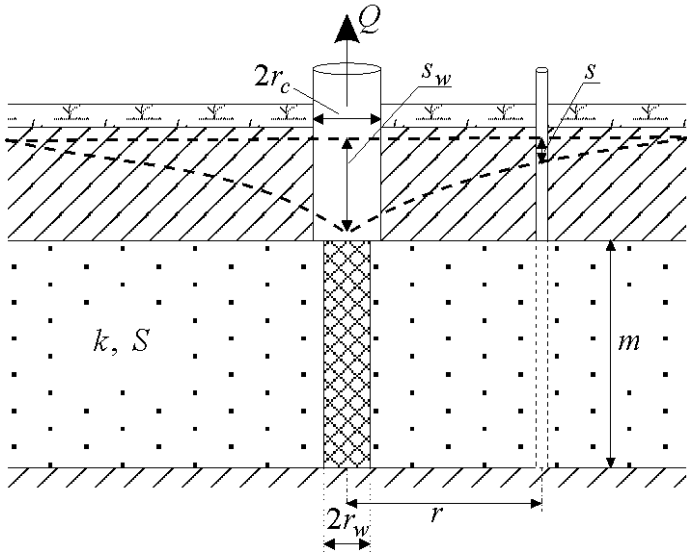
Безнапорный пласт



Возможности:

- понижение в пьезометре
- понижение в набл. скв.
- наклон опытной скважины
- учет зоны аэрации

Емкость опытной скважины, скин-эффект



Учитывается:

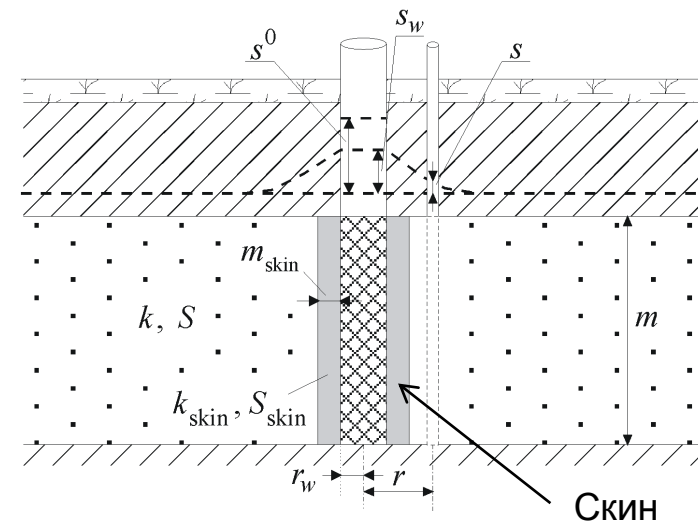
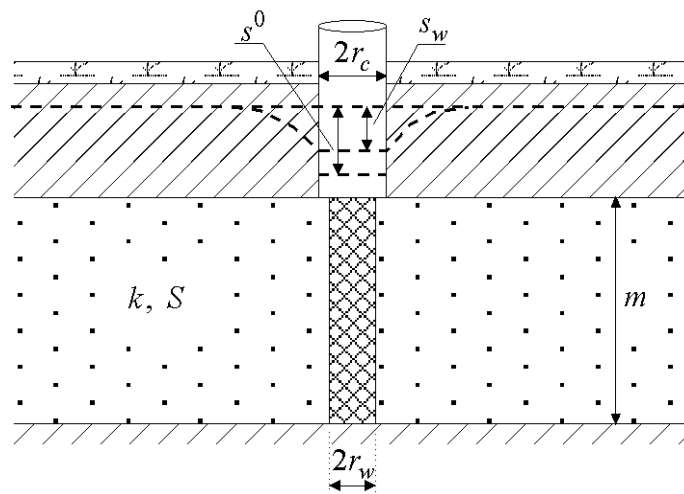
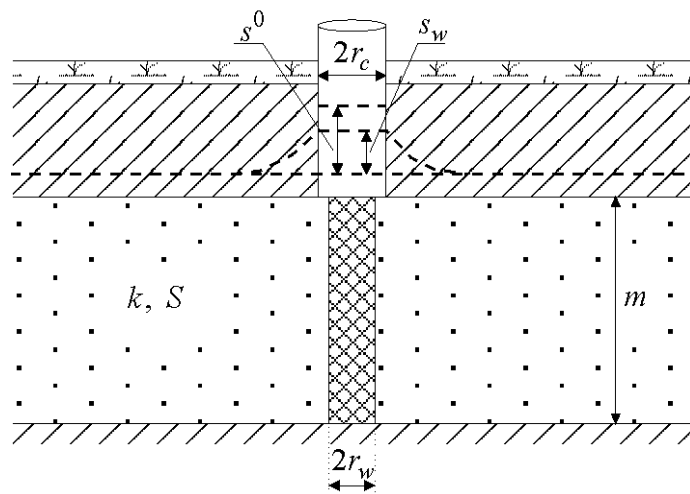
- в напорном пласте (совершенная скважина, линейный источник)
- в безнапорном пласте
- в водоносном комплексе с перетеканием
- в слоистых системах
- в трещиновато-пористой среде

Наблюдательная скважина

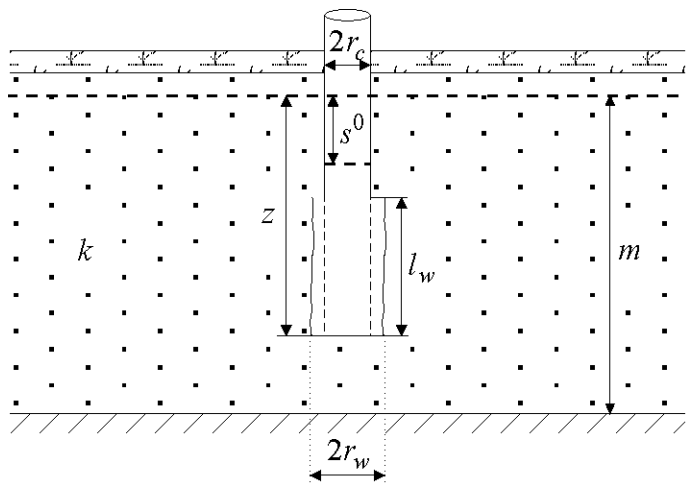
Пересчет параметров		Пьезопроводность	
Сопrotивление русла реки		Кoэффициент формы	
0.1 г, м 5 Lf, м	20 м, м 1 kz/kx	☐ модифицированный 18.78493 Кoэфф. формы, м	

Экспресс-опробования

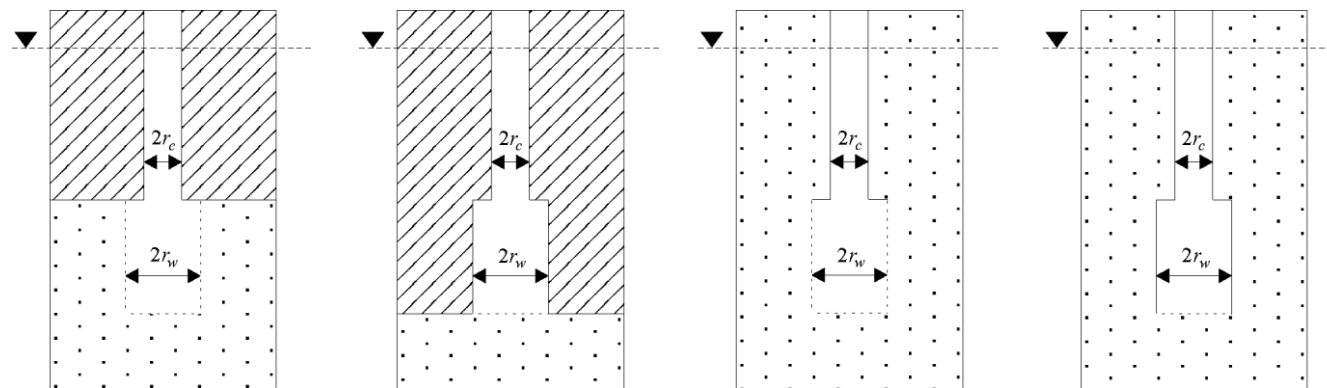
Напорный пласт



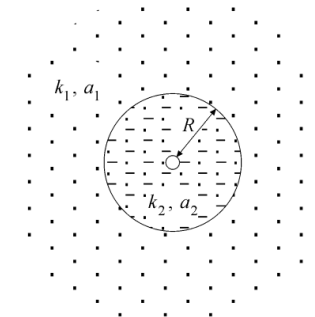
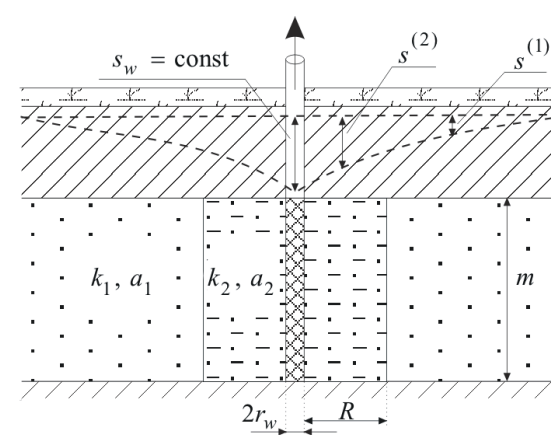
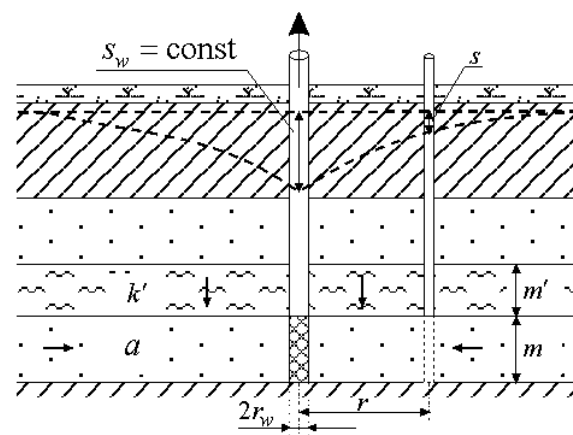
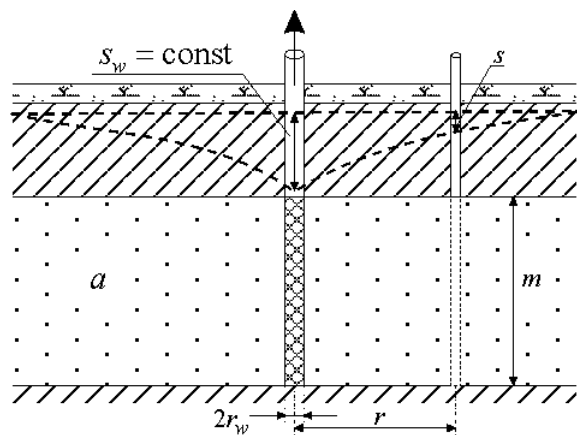
Безнапорный пласт



Решения Хворслева

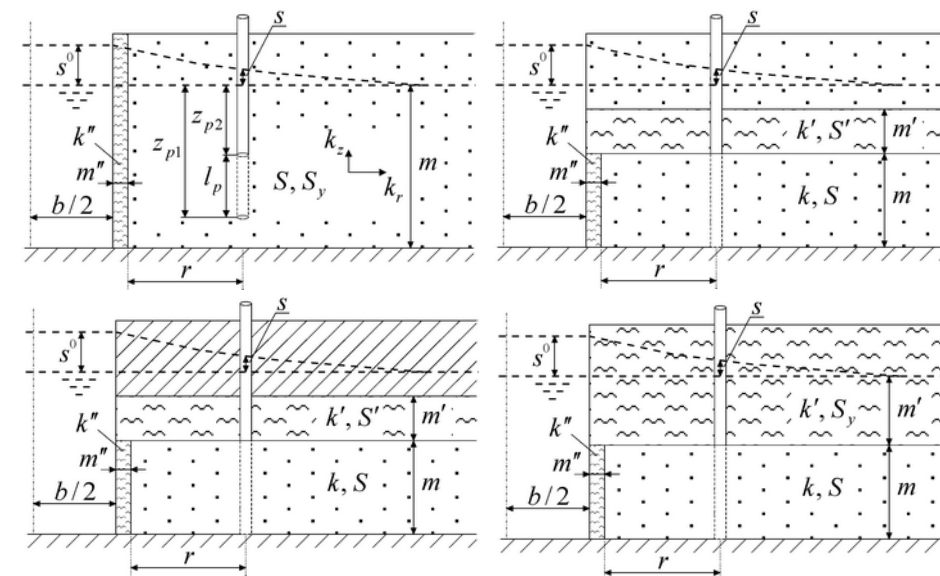
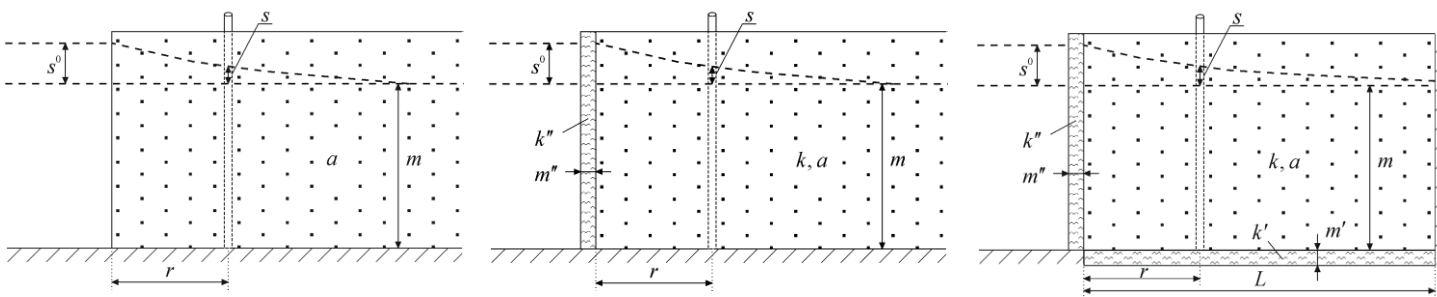


Откачка с постоянным понижением



Для схем: напорный пласт, водоносный комплекс с перетеканием, радиально-неоднородный пласт

Мониторинг



Учитываем: сопротивление русла реки, перетекание, непроницаемую границу, вторую реку, колебания уровня в реке

Расчетные схемы: ANSDIMAT

1. **Изолированный напорный пласт** (совершенная скважина) – 6
2. **Точечный источник** – 1
3. **Линейный источник** – 3 (9)
4. **Безнапорный пласт** – 13 + доп. условия
5. Водоносные комплексы с перетеканием
 - **Постоянный уровень в смежном пласте** – 4
 - Уровень в смежном пласте меняется – 4
 - Схема с перетеканием с учетом емкости разделяющего слоя – 10
 - Профильно-анизотропный пласт с перетеканием – 3
6. Двухслойный водоносный комплекс – 3
7. Плано-неоднородный пласт – 6
8. Откачка около реки – 4
9. Слоистые системы – 6 + 5
10. **Многопластовые системы** – 55 + ...
11. Наклонный водоносный пласт – 3
12. Трещиновато-пористая среда – 7
13. Горизонтальная скважина – 5
14. Откачка с постоянным понижением – 7
15. Экспресс-опробования – 11
16. Мониторинг – 10 + 18

Базовые решения

- **Напорный пласт, совершенная скважина**

- функция влияния скважины (решение Тейса), решения Мёнча, Карслоу и Егера, Пападопулоса, Купера, Джейкоба, решение Хантуша для планово-анизотропного пласта

- **Точечный источник**

- дополнительный интеграл вероятностей

$$W\left(\frac{r^2}{4at}\right) \quad \operatorname{erfc}\left(\frac{d}{2\sqrt{at}}\right)$$

- **Линейный источник**

- решения Хантуша, решения Мёнча, Гиринский

- **Безнапорный пласт**

- решения Болтона, Ньюмана, Мёнча, решение Тейса для гравитационного режима, решение Хантуша для гравитационного режима, решение Менча-Прикета для напорно-безнапорного пласта

- **Пласт с перетеканием**

- функция влияния скважины с учетом перетекания, решения Хантуша и Джейкоба, решения Ньюмана и Визерспуна, решения Лэя и Чен-Ву, решение Хантуша для планово-анизотропного пласта

- **Слоистые системы**

- решения Хантуша, решения Менча

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

- **Двухслойный пласт**

- решение Мироненко и Сердюкова, решение Кулей и Кэйса

- **Планово-неоднородный пласт**

- решение Максимова, решение Фенске, решения H.-D. Yeh, S.-Y. Yang

$$W\left(\frac{r^2}{4at}, \frac{r}{B}\right)$$

$$s = \frac{2Q}{\pi T} \frac{\beta_3}{\pi} \int_0^\infty \left\{ \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau^2 + \beta_2^2}{4u}\right) \right] \frac{\tau}{\tau^2 + \beta_2^2} \frac{J_0(\beta_1\tau) \left[(\tau^2 + \beta_2^2) Y_0(\tau) - 2\beta_3\tau Y_1(\tau) \right] - Y_0(\beta_1\tau) \left[(\tau^2 + \beta_2^2) J_0(\tau) - 2\beta_3\tau J_1(\tau) \right]}{\left[(\tau^2 + \beta_2^2) J_0(\tau) - 2\beta_3\tau J_1(\tau) \right]^2 + \left[(\tau^2 + \beta_2^2) Y_0(\tau) - 2\beta_3\tau Y_1(\tau) \right]^2} \right\} d\tau$$

Базовые решения (продолжение)

- **Откачка вблизи реки (граница III рода)**
 - решение Зеегофера и Шестакова, решение Хантуша
- **Наклонный пласт и пласт переменной мощности**
 - решения Хантуша
- **Трещиновато-пористая среда**
 - решения Менча, решения Грингартена, решение Дженкинса и Прентиса
- **Полуограниченные и ограниченные в плане или в разрезе пласты**
 - принцип суперпозиции, функции Грина
- **Групповая откачка и/или переменный расход**
 - принцип суперпозиции (для всех решений)
- **Экспресс-опробования**
 - решение Купера, Пикинга, Бауэра и Райса, Хворслева, решения H.-D. Yeh, S.-Y. Yang
- **Откачка с постоянным понижением**
 - решения Егера, Хантуша, Стернберга, решения H.-D. Yeh, S.-Y. Yang
- **Горизонтальная скважина**
 - решения Чана, Злотника

Принцип суперпозиции

Две опытные скважины с постоянным расходом

$$s = \frac{Q_1}{4\pi T} W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right) + \frac{Q_2}{4\pi T} W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right)$$

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

Одна опытная скважина с переменным расходом

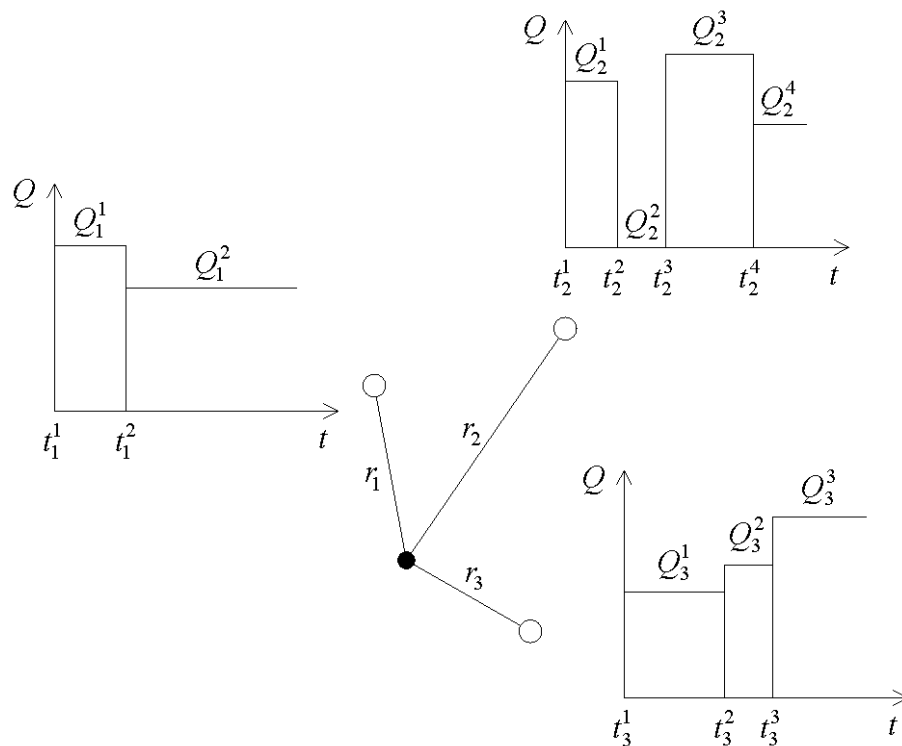
$$s = \frac{Q_1}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4a(t-t_1)}\right) + \frac{Q_2 - Q_1}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4a(t-t_2)}\right)$$

Несколько опытных скважин с переменным расходом

$$s = \frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i^j} (Q_i^j - Q_i^{j-1}) W\left(\frac{r_i^2}{4a(t-t_i^j)}\right)$$

Восстановление уровня

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) - \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) - W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) \right]$$

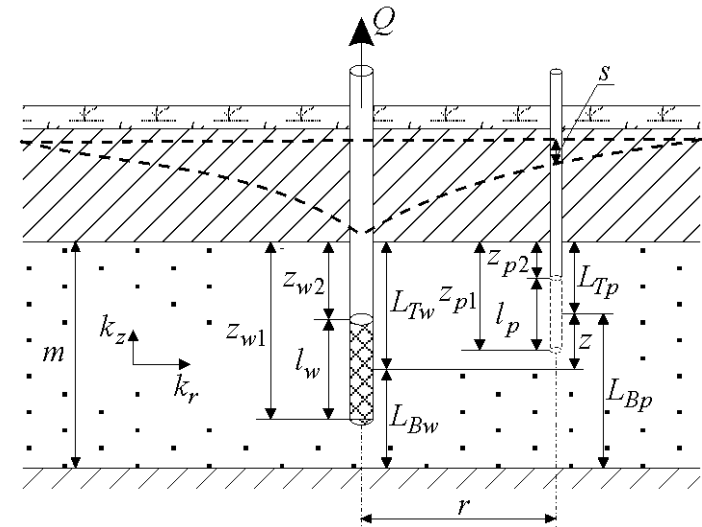
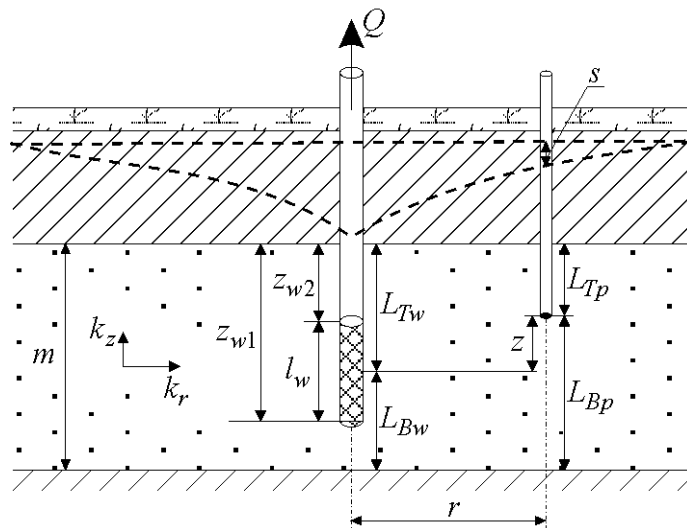
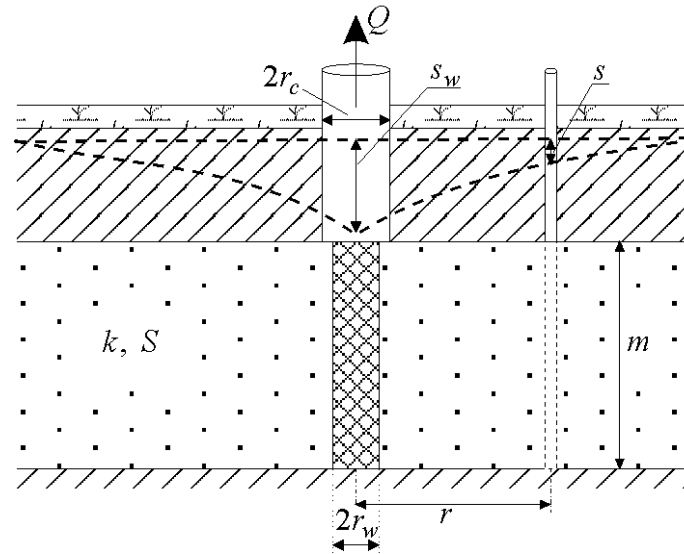


Условия проведения опробования: количество опытных скважин и расход

- Одна опытная скважина с постоянным расходом
- Несколько опытных скважин с постоянным расходом (синхронное или асинхронное начало работы скважин)
- Одна опытная скважина с переменным расходом
- Несколько опытных скважин с переменным расходом

Наблюдения за изменением уровня

- опытная скважина
- наблюдательная скважина
- пьезометр



Расположение точек наблюдения

- в основном пласте
- в смежном пласте
- в разделяющем слое
- в трещине
- в блоке
- ниже или выше скважины

Обработка

27

- **Откачка** (нагнетание)
- **Восстановление**
 - уровень отсчитывается от начала откачки
 - уровень отсчитывается от начала восстановления
 - пренебрегаем периодом откачки
- **Совместная обработка** откачки и восстановления

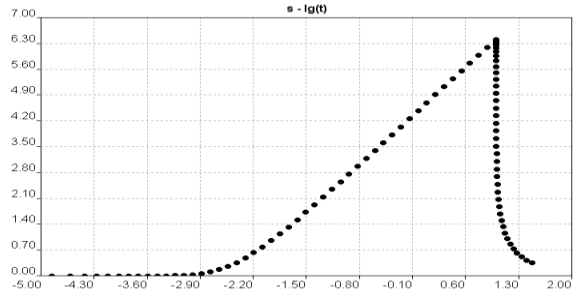
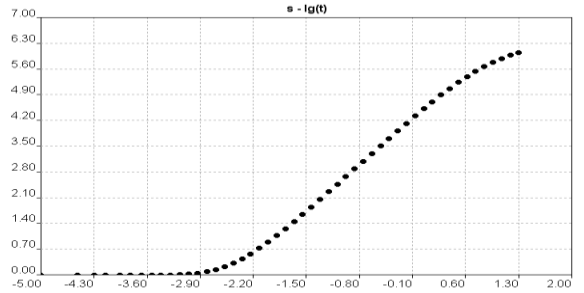
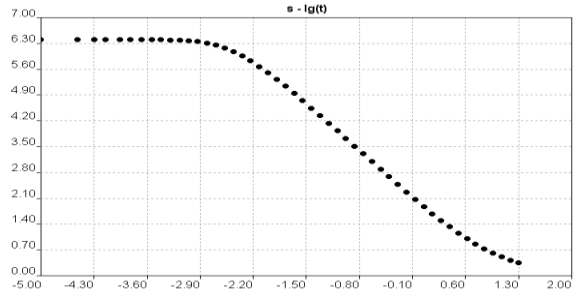
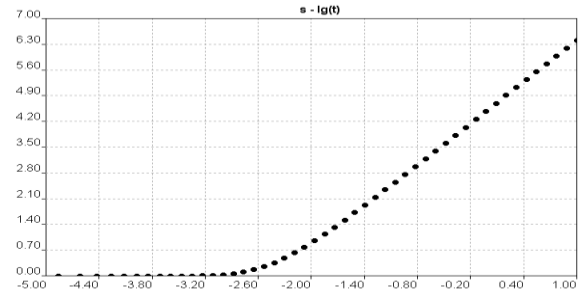
$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}\right)$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) - W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) \right]$$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} [s_0 - s] = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4at_0}\right) - W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) + W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) \right]$$

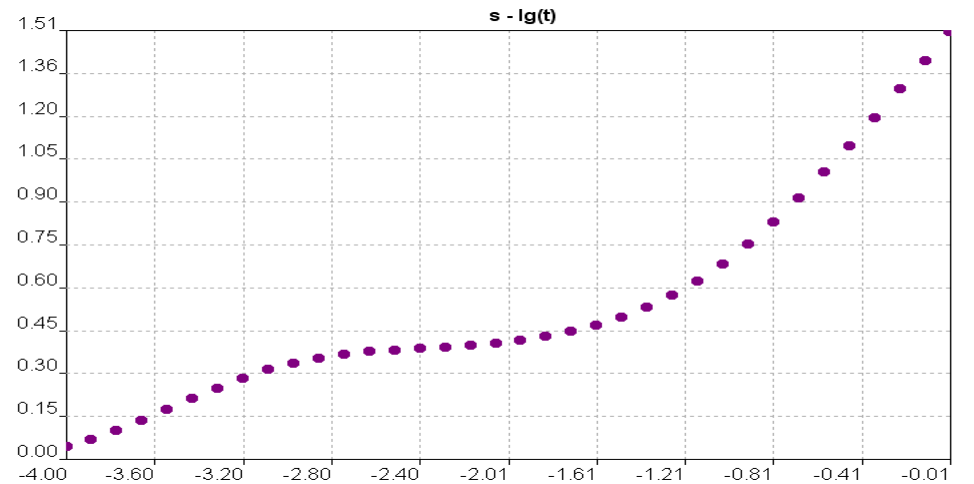
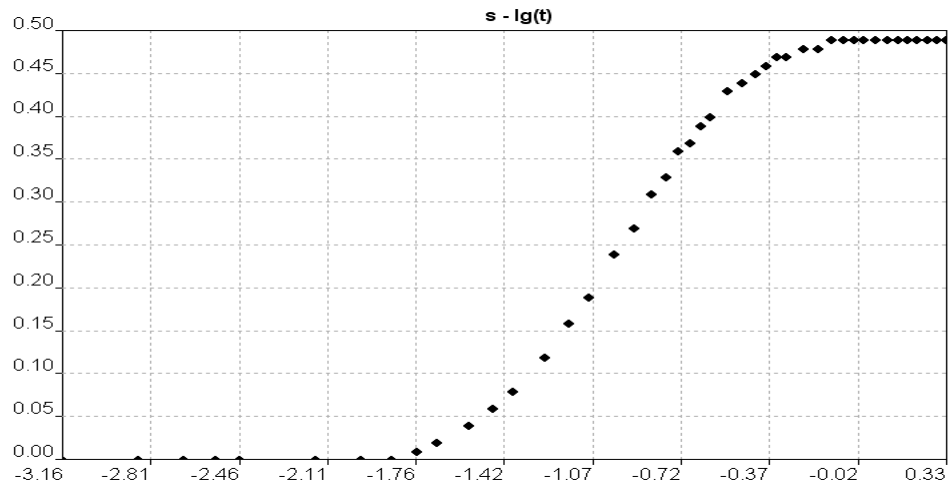
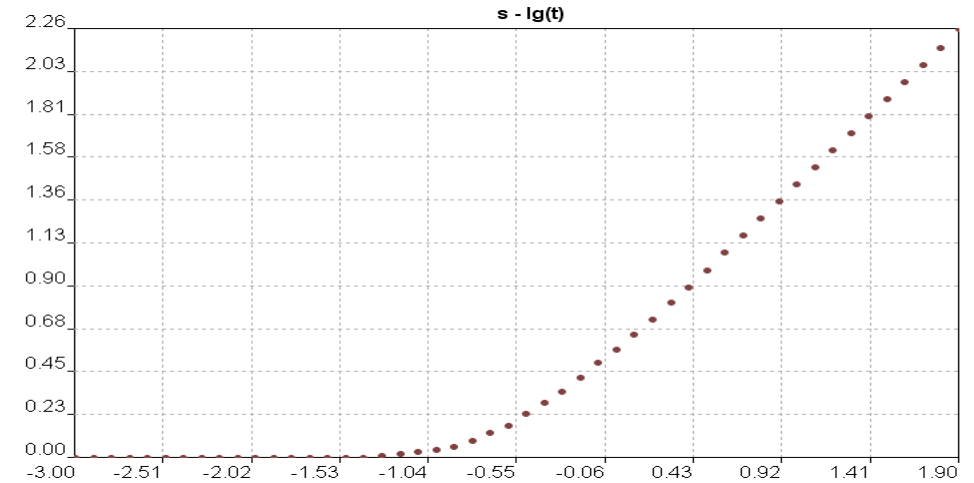
$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_0 + t_r}{t_r}$$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at'}{r^2}$$



Режимы фильтрационного потока

- нестационарный
- квазистационарный
- ложностационарный
- стационарный



Способы обработки

- **Графоаналитические способы**
 - прямая линия
 - горизонтальная прямая линия
 - эталонная кривая
 - биссектриса
- **Аналитические способы:** подбор параметров (прямая задача)
 - по замерам в одной скважине (временное прослеживание)
 - по замерам в нескольких скважинах (комбинированное прослеживание)
 - по замерам в нескольких скважинах (площадное прослеживание)
 - по отношению понижений в двух скважинах
 - по разности понижений в двух скважинах
 - другие
- **Решение обратной задачи**
 - метод наименьших квадратов, UCODE
- **Аналитическое моделирование**
 - AMWELLS
- **Численное моделирование**
 - MODFE , RADFLOW

Графики фактических замеров

Стандартные

$$s - \lg t$$

$$s - \lg \frac{t}{r^2}$$

$$s - \lg r$$

$$\lg s - \lg t$$

$$\lg s - \lg \frac{t}{r^2}$$

$$\frac{s_1}{s_2} - \lg t$$

$$(s_1 - s_2) - \lg t$$

$$s - t^n$$

$$s - \text{well}$$

$$Q - t$$

Приведенные

$$s - \lg t'$$

$$s - \lg \frac{t'}{r'^2}; \quad s - \lg \frac{t}{r'^2}; \quad s - \lg \frac{t'}{r^2}$$

$$s - \lg r'$$

$$\frac{s}{Q} - \lg \frac{t'}{r'^2}; \quad \frac{s}{Q} - \lg \frac{t}{r'^2}; \quad \frac{s}{Q} - \lg \frac{t'}{r^2}$$

.....

Для безнапорного режима

$$s(2m - s) - \lg t$$

$$s(2m - s) - \lg \frac{t}{r^2}$$

$$s(2m - s) - \lg r$$

$$\lg[s(2m - s)] - \lg t$$

$$\lg[s(2m - s)] - \lg \frac{t}{r^2}$$

Нестандартные

$$s - \frac{1}{\sqrt{t}}$$

$$ds - \frac{d}{\sqrt{t}}$$

$$s - \frac{1}{d}$$

.....

Разное

$$\frac{s_1}{s_2} - \frac{f_1}{f_2}$$

$$\frac{s}{s^0} - \lg t$$

$$\lg \frac{s^0}{s} - t$$

Эталонные кривые

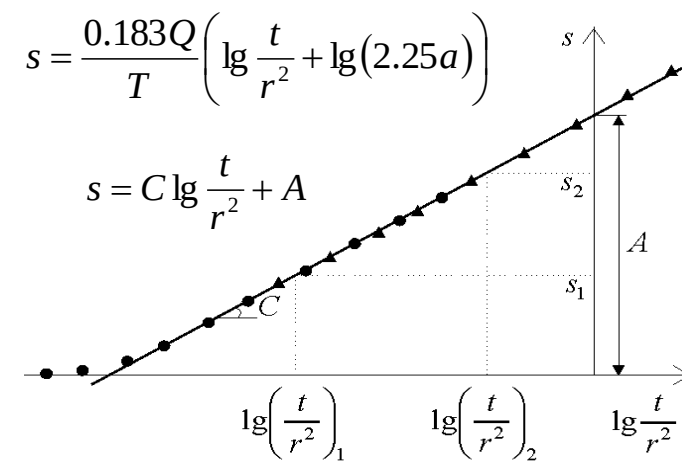
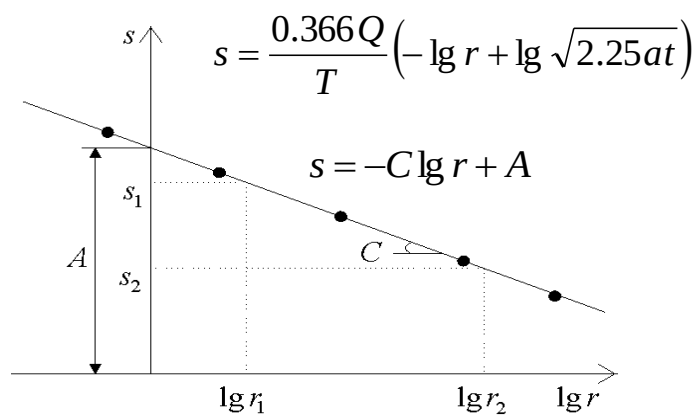
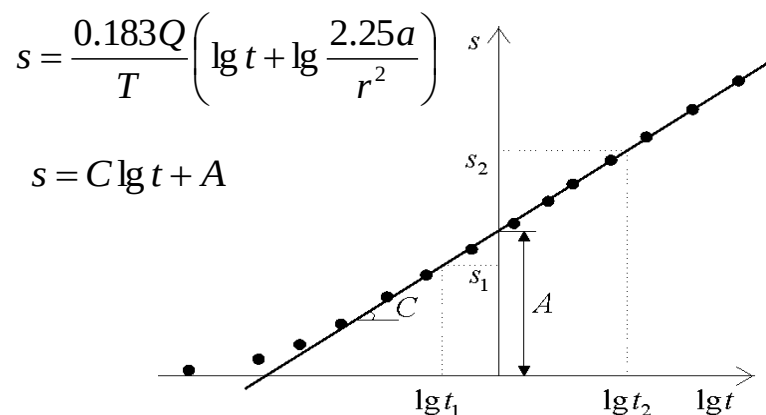
$$\lg W(u) - \frac{1}{u}$$

$$\lg W(u, \beta) - \frac{1}{u}$$

$$\lg \operatorname{erfc}(u) - \frac{1}{u^2}$$

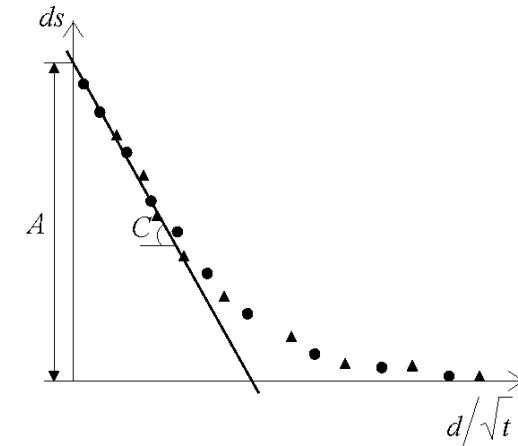
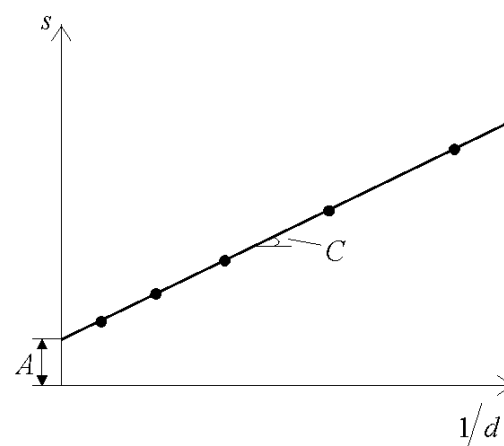
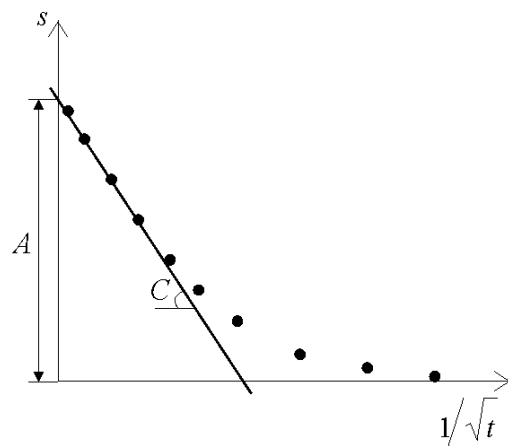
Способ прямой линии

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}\right) \quad W(u) \approx -\ln u - 0.577 = \ln \frac{0.562}{u} = \ln \frac{2.25at}{r^2} \quad s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r^2} = \frac{0.183Q}{T} \lg \frac{2.25at}{r^2}$$



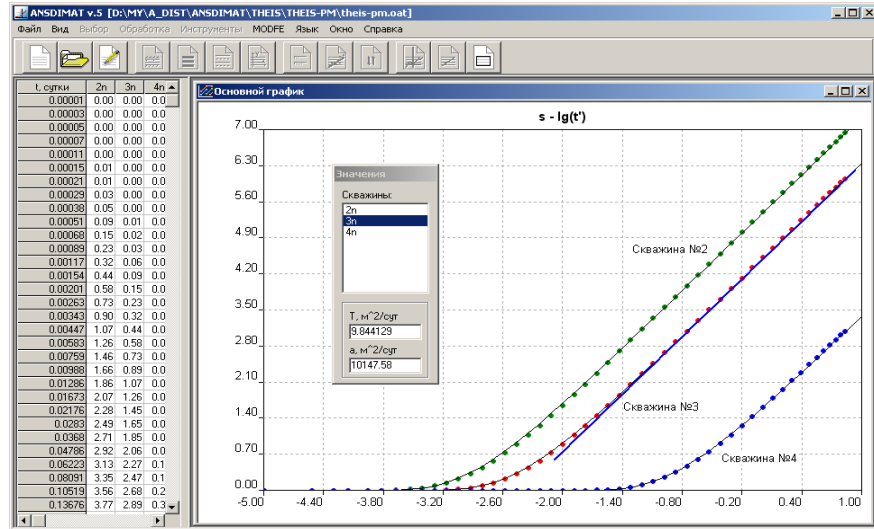
Точечный источник:

$$s = \frac{Q}{4\pi k d} \operatorname{erfc} \frac{d}{2\sqrt{at}} \approx \frac{Q}{4\pi k} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{\sqrt{\pi at}} \right)$$

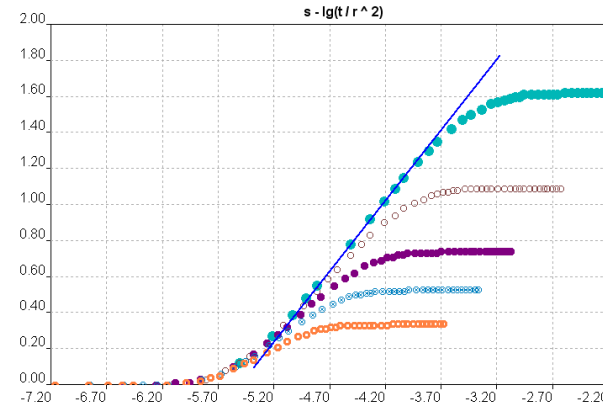


Способ прямой линии: примеры

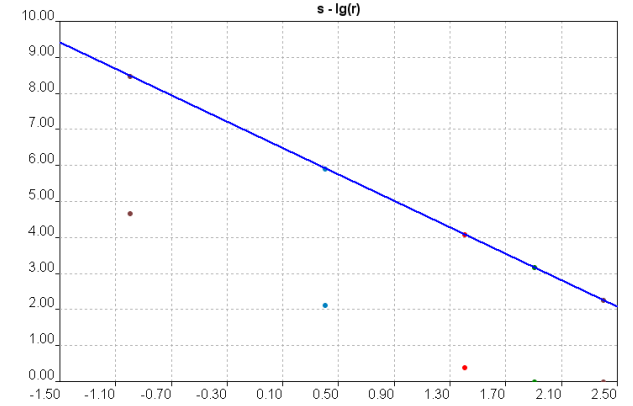
Напорный пласт: схема Тейса



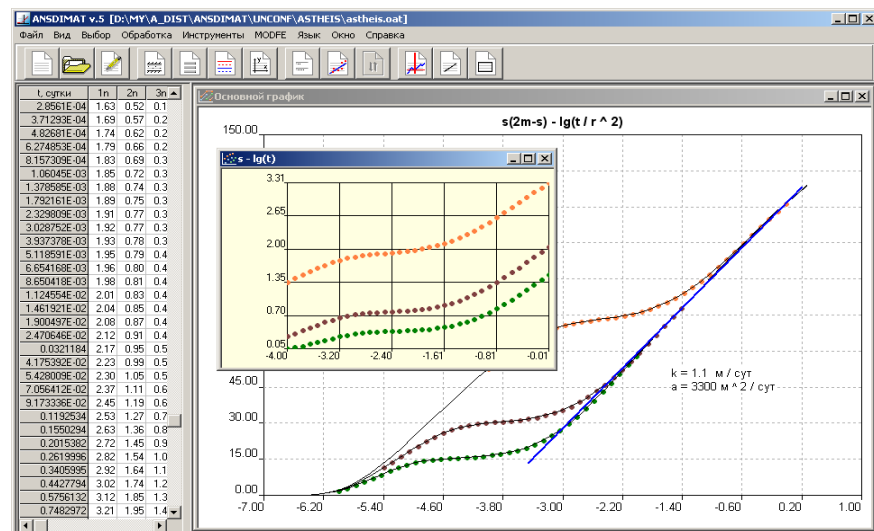
Комбинированное прослеживание



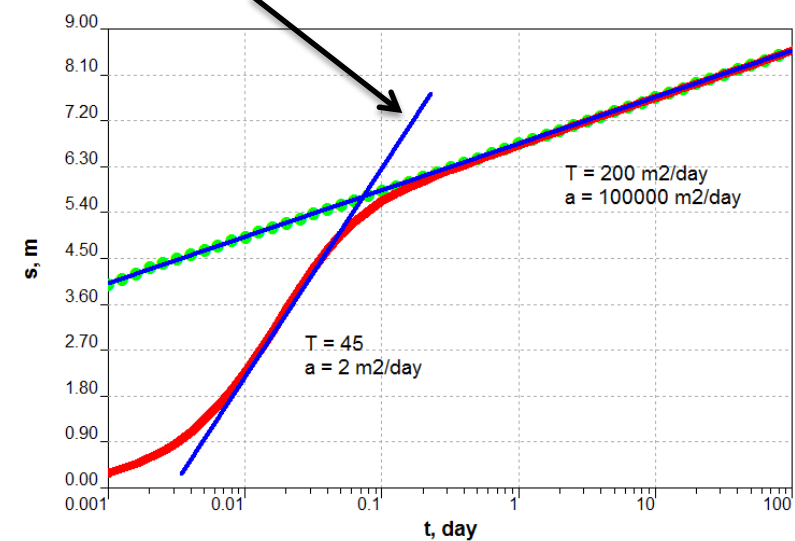
Площадное прослеживание



Безнапорный пласт



Возможные ошибки при использовании прямой линии



Способ прямой линии (пример): ВОССТАНОВЛЕНИЕ

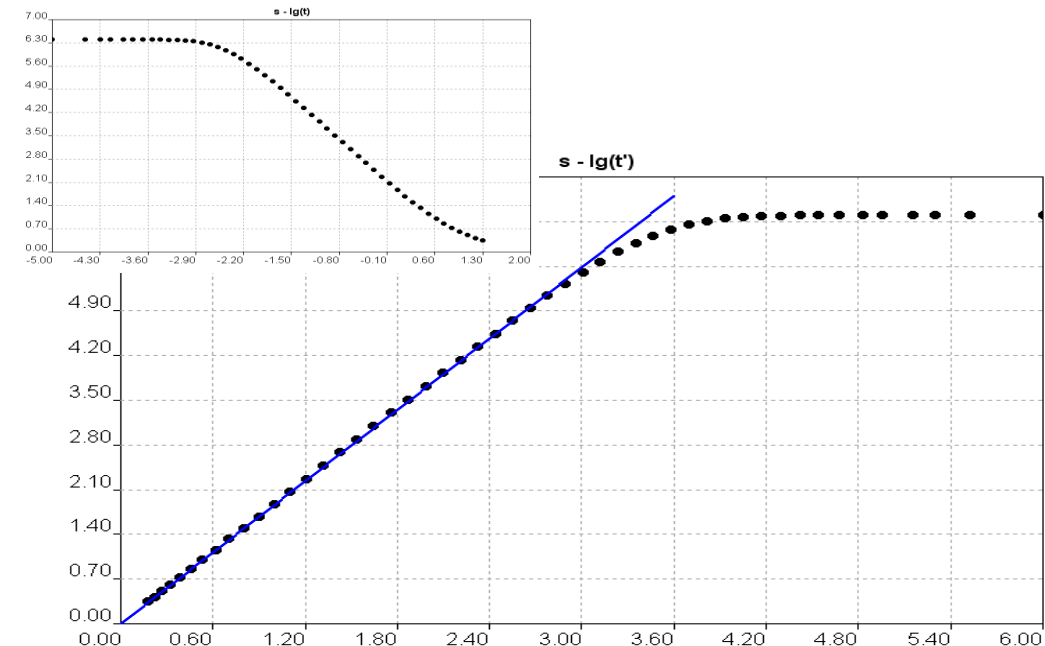
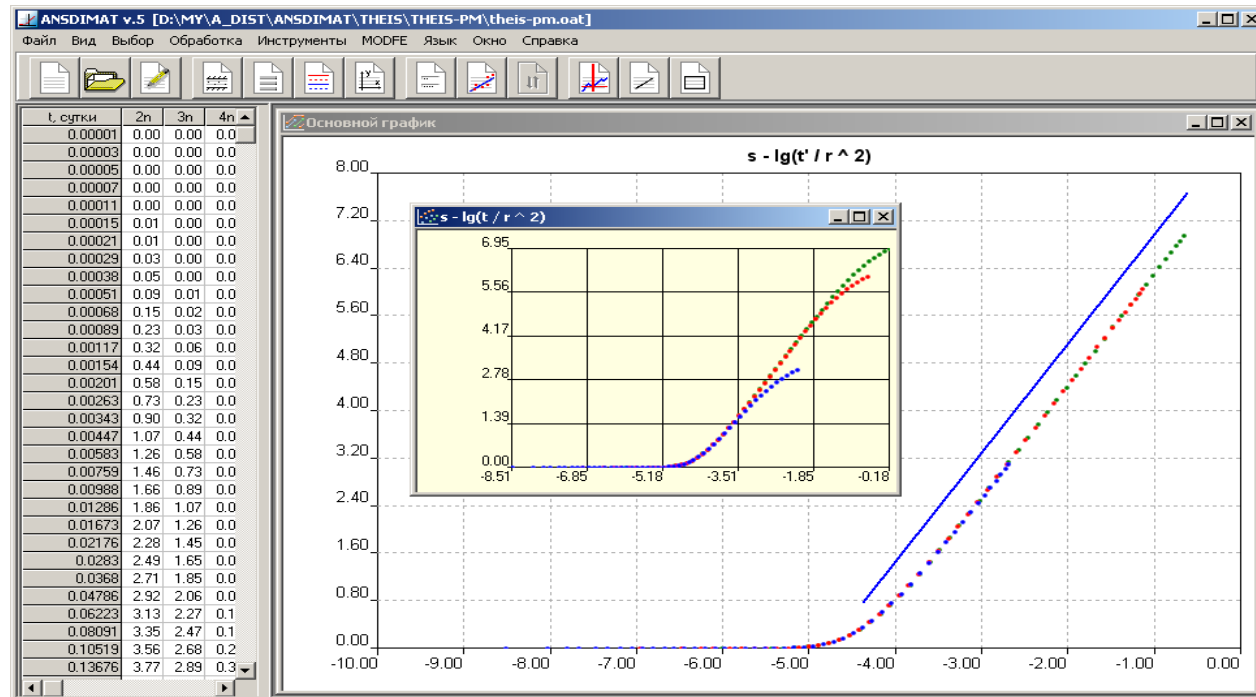
$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4at_0}\right) - W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) + W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) \right]$$

$$s_r = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at'}{r^2} \quad t' = \frac{t_0 t_r}{t_0 + t_r}$$

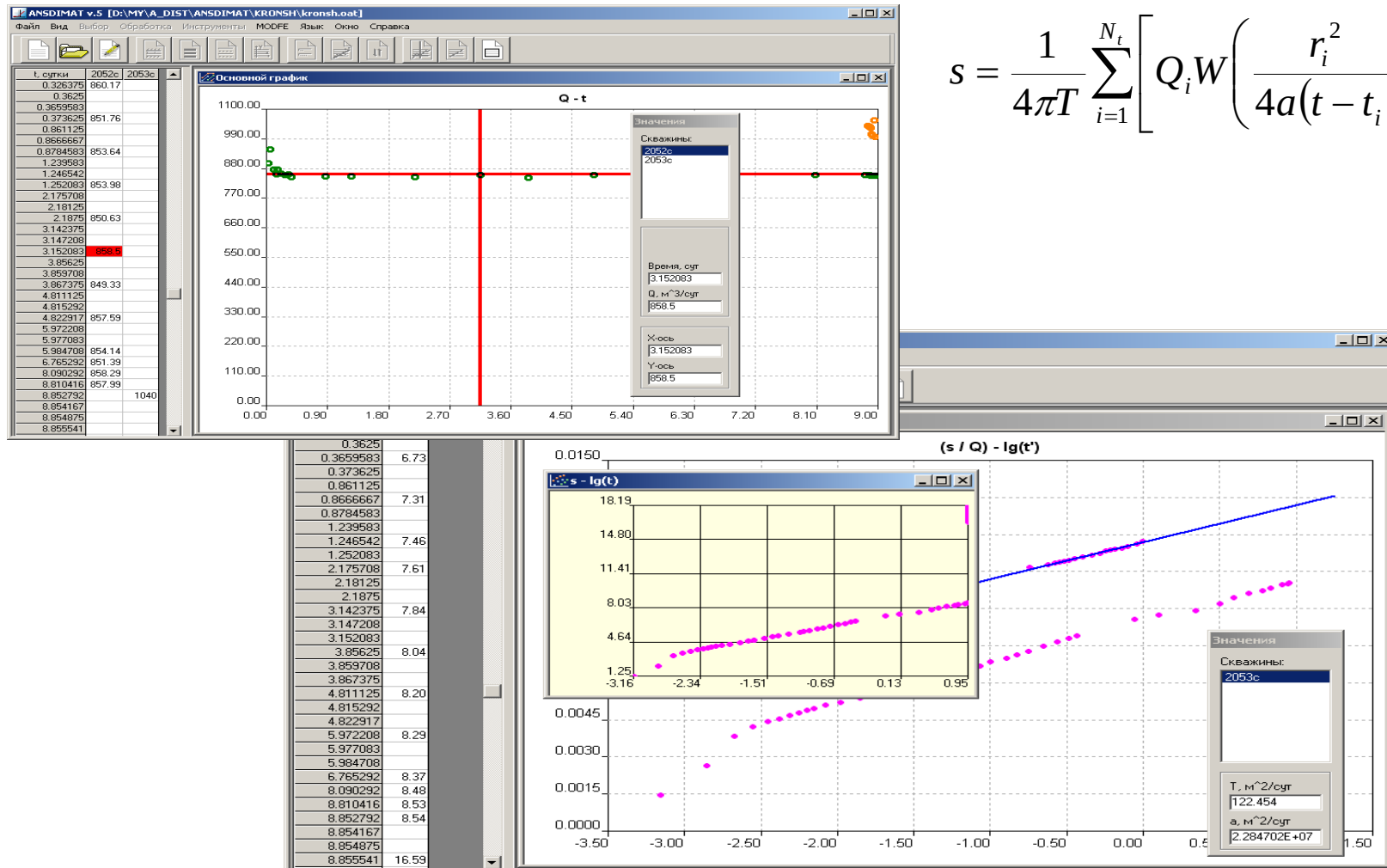
$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2}{4a(t_0 + t_r)}\right) - W\left(\frac{r^2}{4at_r}\right) \right]$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_0 + t_r}{t_r}$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_0 + t_r}{t_r} - \ln \frac{S}{S'}$$



Способ прямой линии (пример): групповая откачка (постоянный расход, асинхронное начало работы)



$$s = \frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^{N_t} \left[Q_i W \left(\frac{r_i^2}{4a(t-t_i)} \right) \right]$$

$$\ln t' = \frac{1}{Q_t} \sum_{i=1}^{N_t} Q_i \ln(t-t_i)$$

$$\ln r' = \frac{1}{Q_t} \sum_{i=1}^{N_t} (Q_i \ln r_i)$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^{N_t} Q_i$$

$$s = \frac{Q_t}{4\pi T} \ln \frac{2.25at'}{r'^2}$$

Способ прямой линии (пример): групповая откачка с переменным расходом

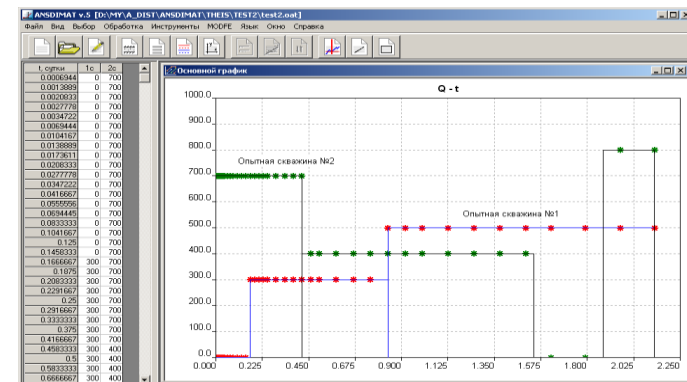
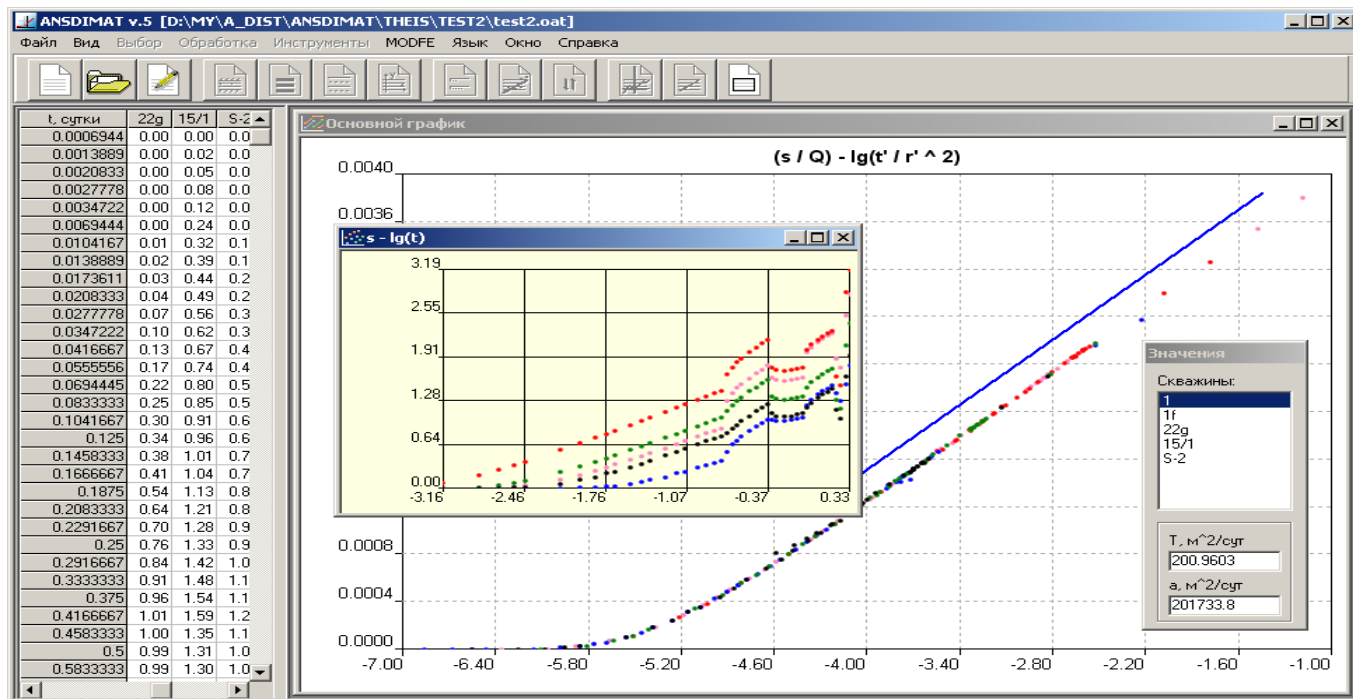
$$s = \frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i^j} \left[(Q_i^j - Q_i^{j-1}) W \left(\frac{r_i^2}{4a(t - t_i^j)} \right) \right]$$

$$s = \frac{Q_t}{4\pi T} \ln \frac{2.25at'}{r'^2}$$

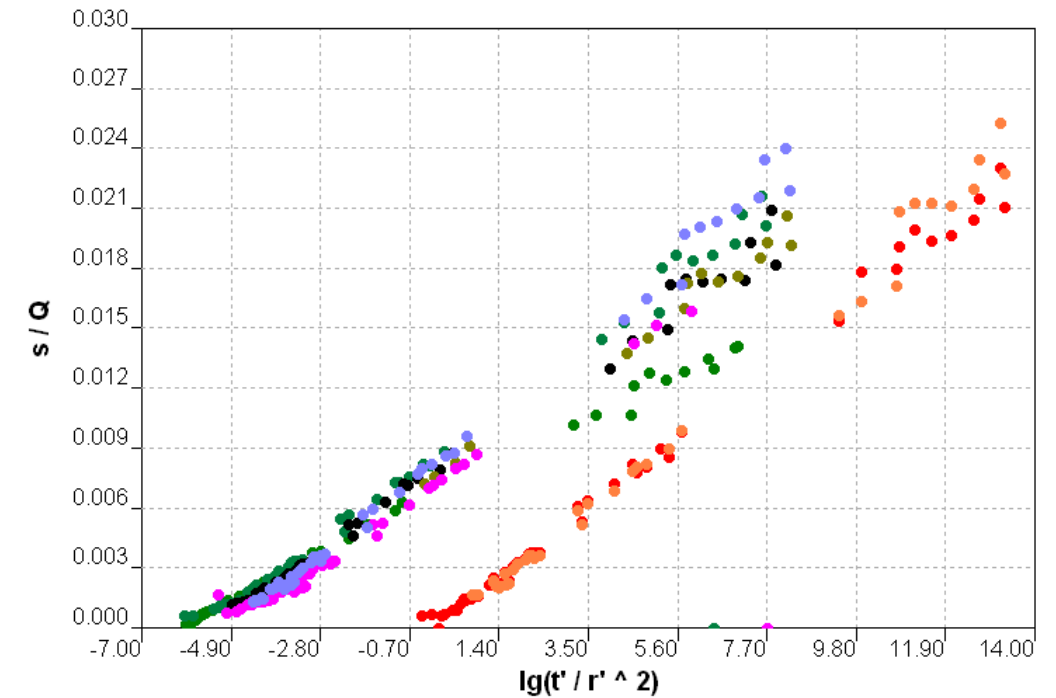
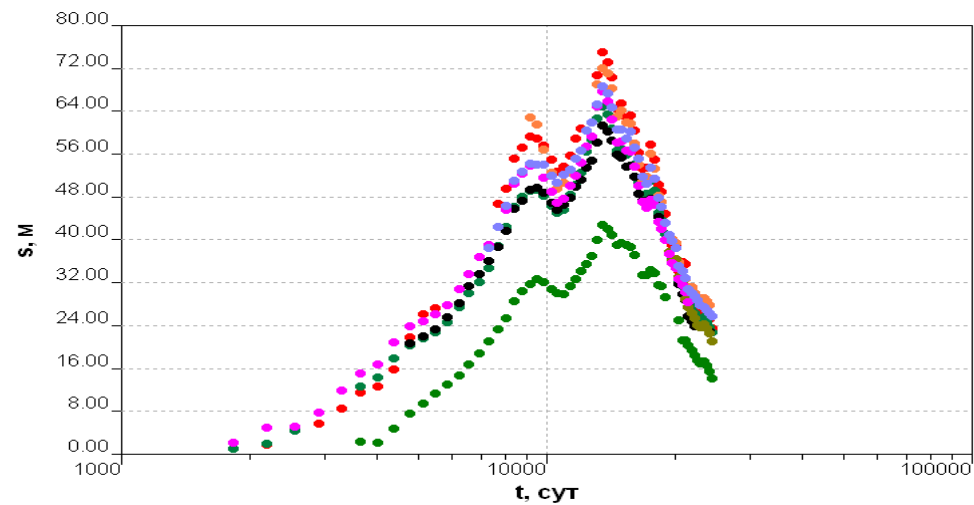
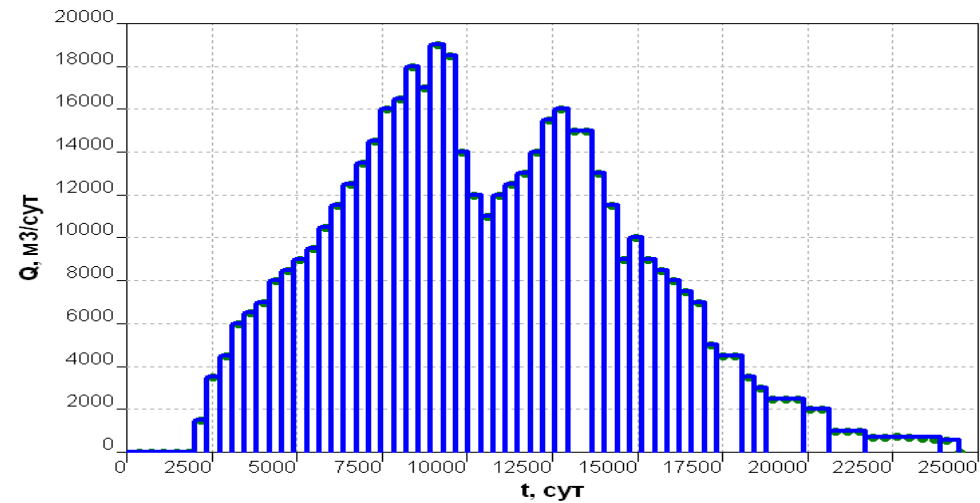
$$\ln t' = \frac{1}{Q_t} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i^j} [(Q_i^j - Q_i^{j-1}) \ln(t - t_i^j)]$$

$$\ln r' = \frac{1}{Q_t} \sum_{i=1}^N \left[\ln r_i \sum_{j=1}^{n_i^j} (Q_i^j - Q_i^{j-1}) \right]$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i^j} (Q_i^j - Q_i^{j-1})$$



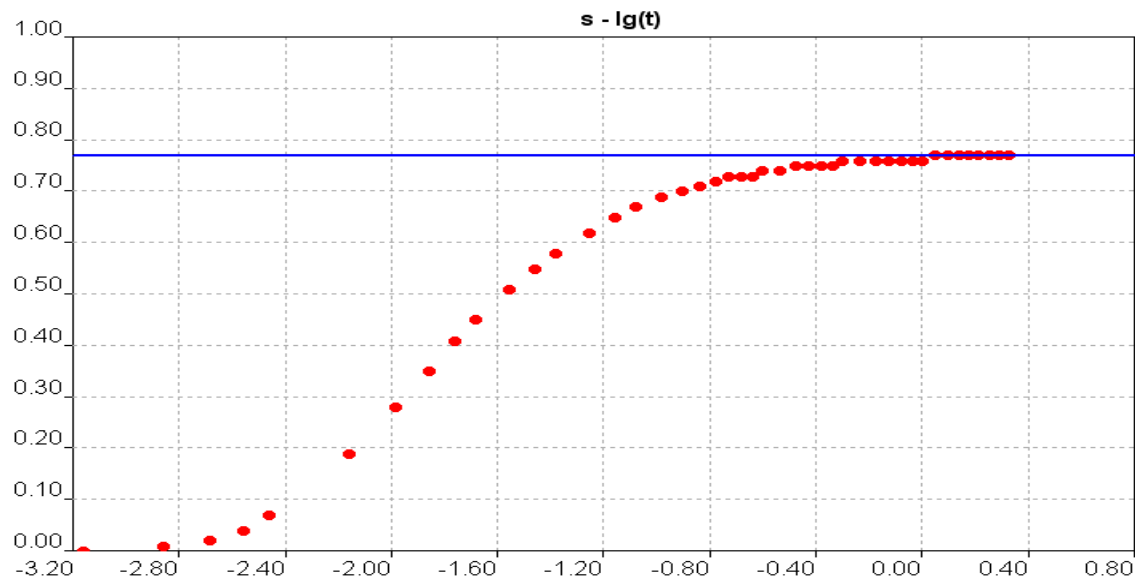
Пример: длительный водоотбор Ленинград – Санкт-Петербург



Горизонтальная прямая линия

Полуограниченный пласт

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

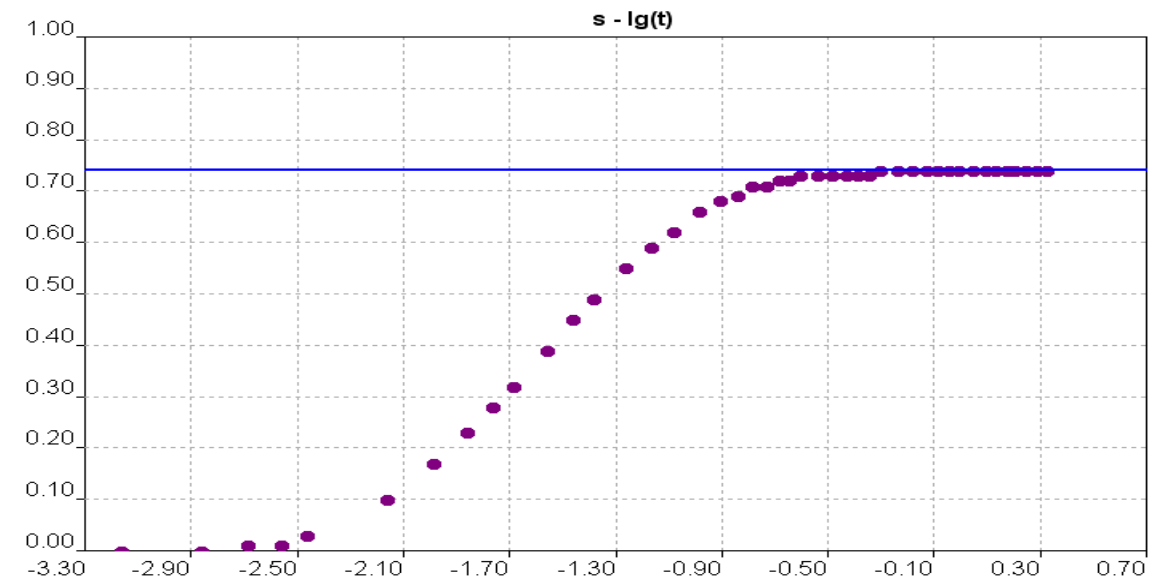


$$s_m = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{\rho}{r}$$

$$T = \frac{Q}{2\pi \cdot A} \ln \frac{\rho}{r}$$

Водоносный комплекс с перетеканием

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



$$s_m = \frac{Q}{2\pi T} K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

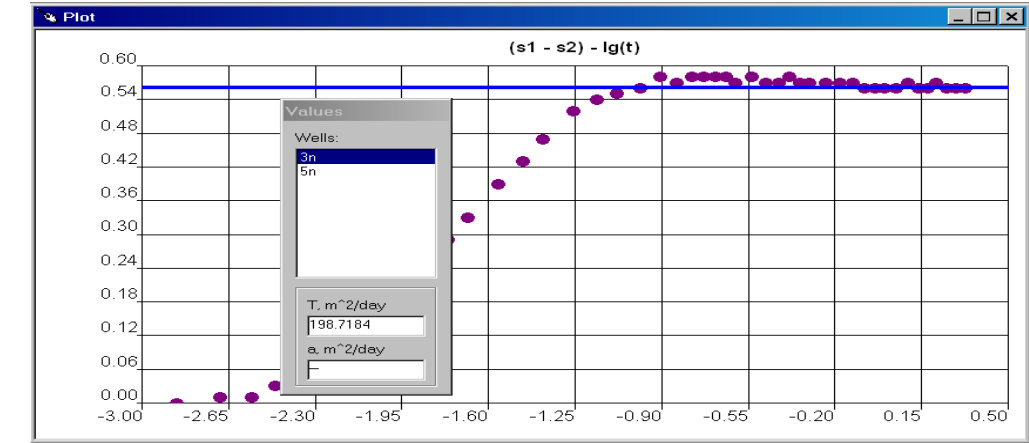
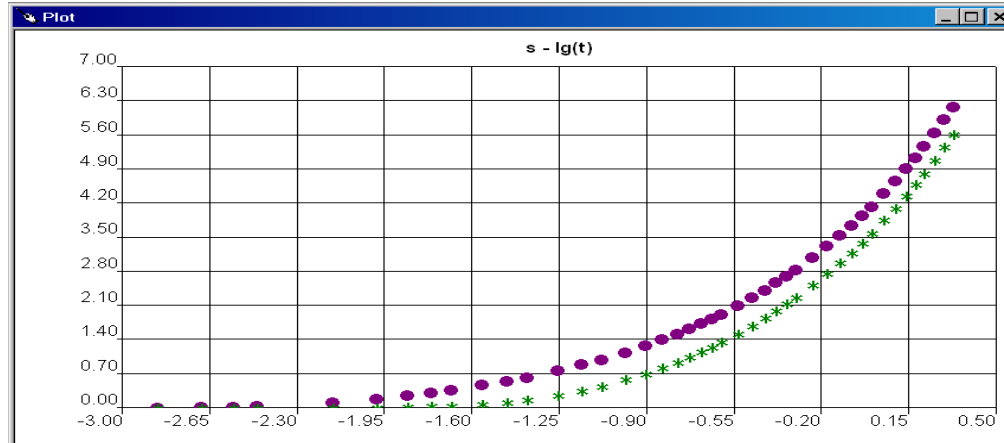
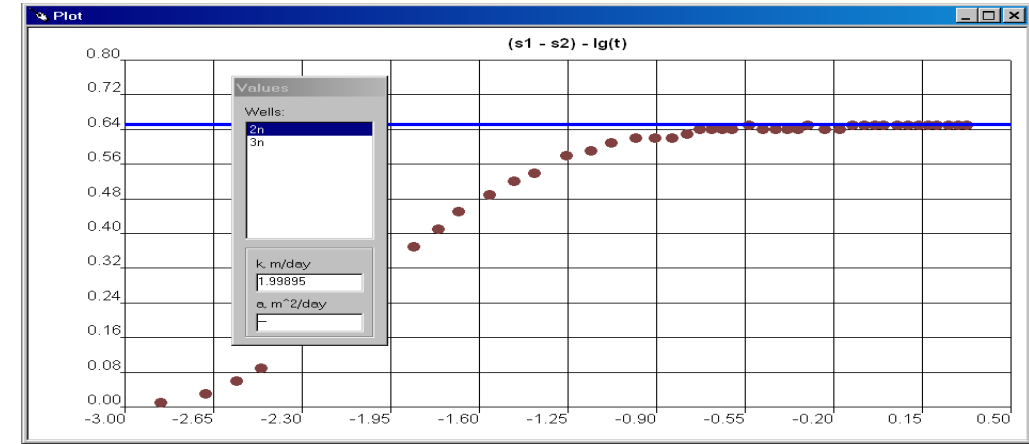
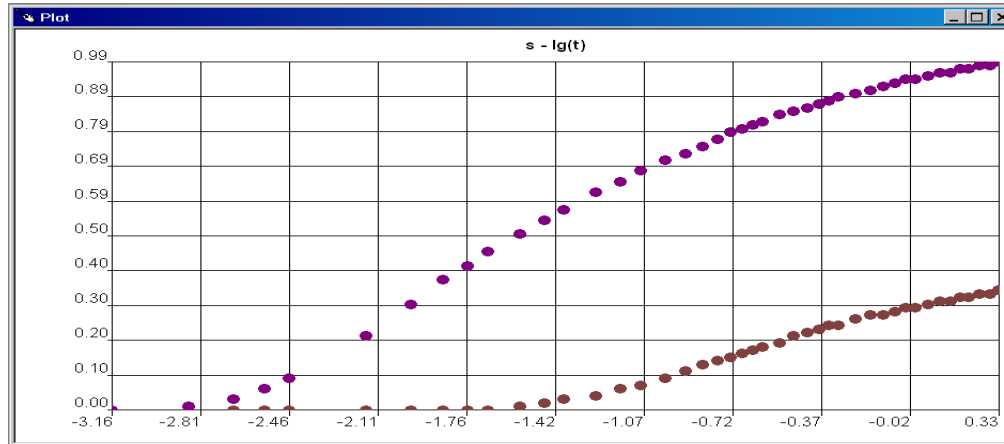
$$T = \frac{Q}{2\pi \cdot A} K_0\left(\frac{r}{B}\right)$$

Пласт-полоса

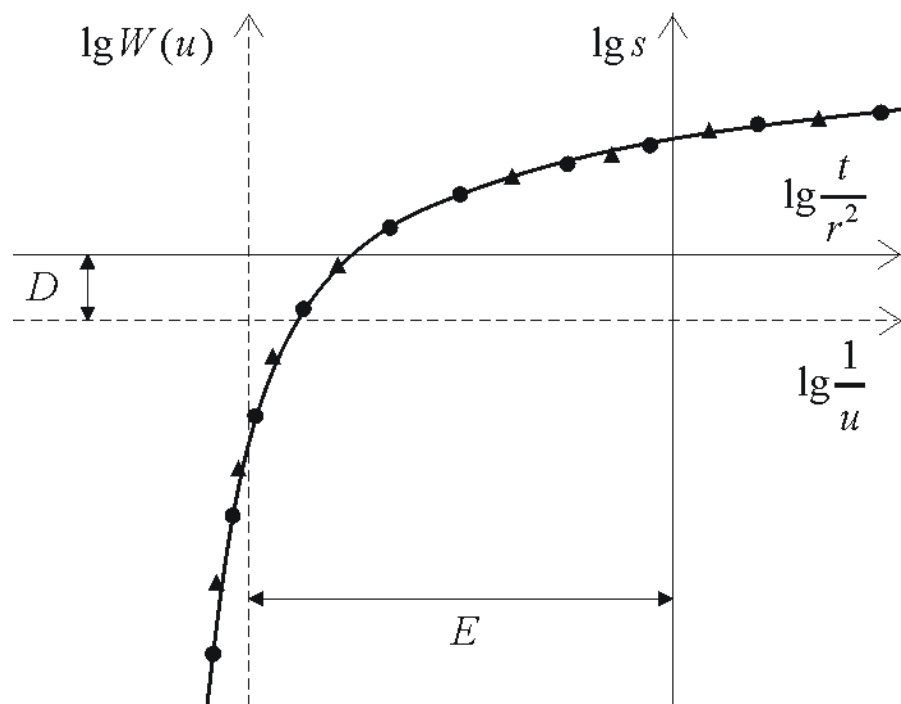
$$T = \frac{Q}{2\pi \cdot A} \ln r'$$

$$r' = \frac{\rho_1^1 \rho_2^1}{r \rho_1^n} \prod_{j=2,4,6\dots}^{n-1} \frac{\rho_1^{j+1} \rho_2^{j+1}}{\rho_1^j \rho_2^j}$$

Горизонтальная прямая линия: примеры на графике разности понижений



Способ эталонной кривой



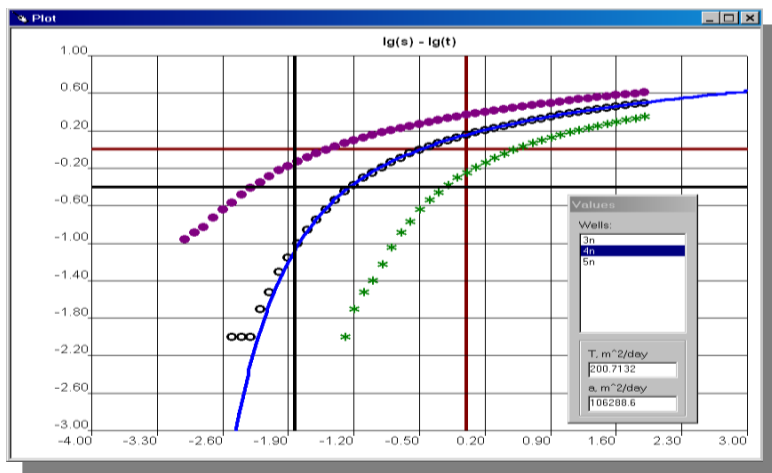
Возможные графики:

- временного
- комбинированного
- и площадного прослеживания

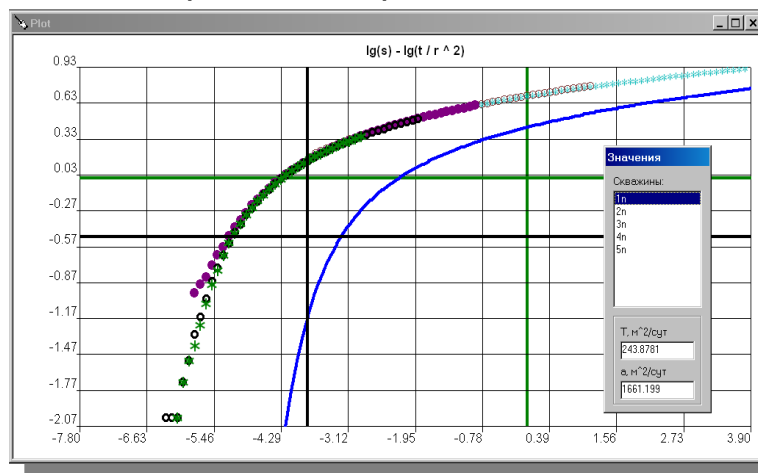
$$\begin{cases} s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \\ u = \frac{r^2}{4at} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lg s = \lg \frac{Q}{4\pi T} + \lg W(u) \\ \lg \frac{1}{u} = \lg \frac{t}{r^2} + \lg(4a) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lg s - \lg W(u) = \lg \frac{Q}{4\pi T} = D \\ \lg \frac{1}{u} - \lg \frac{t}{r^2} = \lg(4a) = E \end{cases}$$

Способ эталонной кривой (примеры)

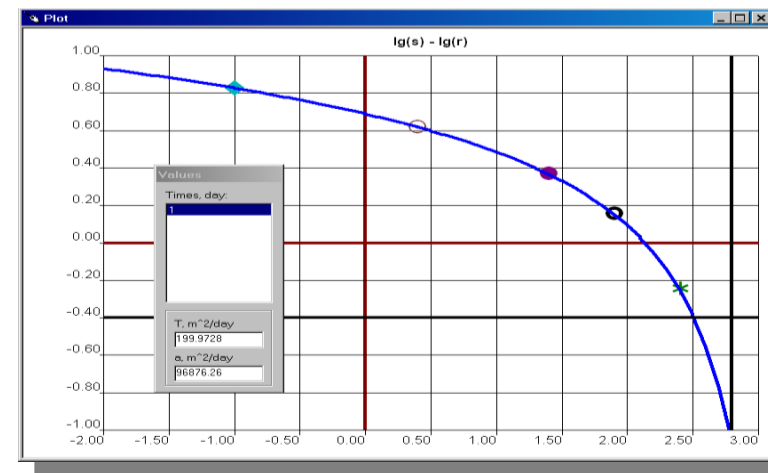
Временное прослеживание



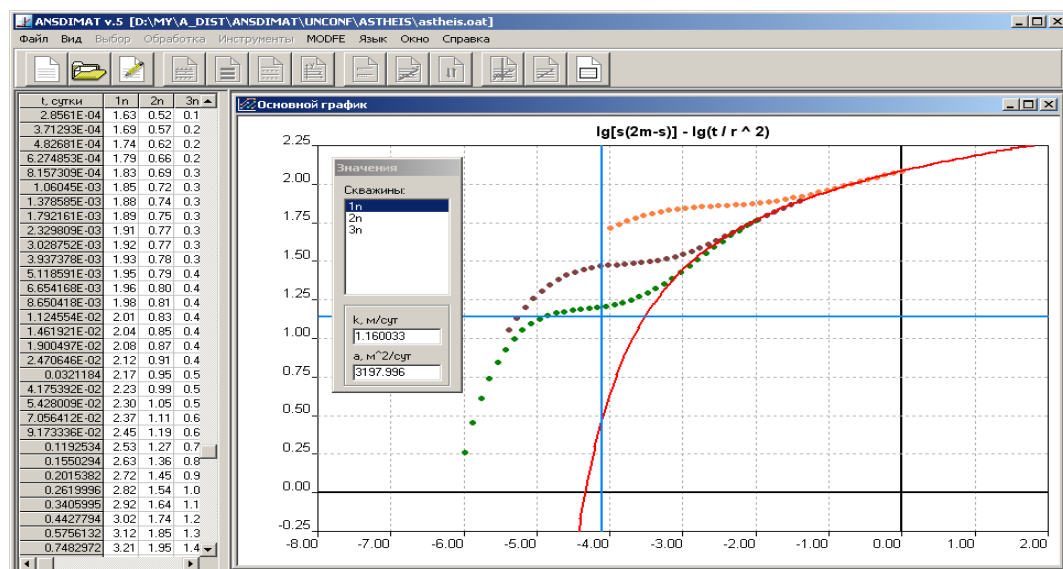
Комбинированное прослеживание



Площадное прослеживание

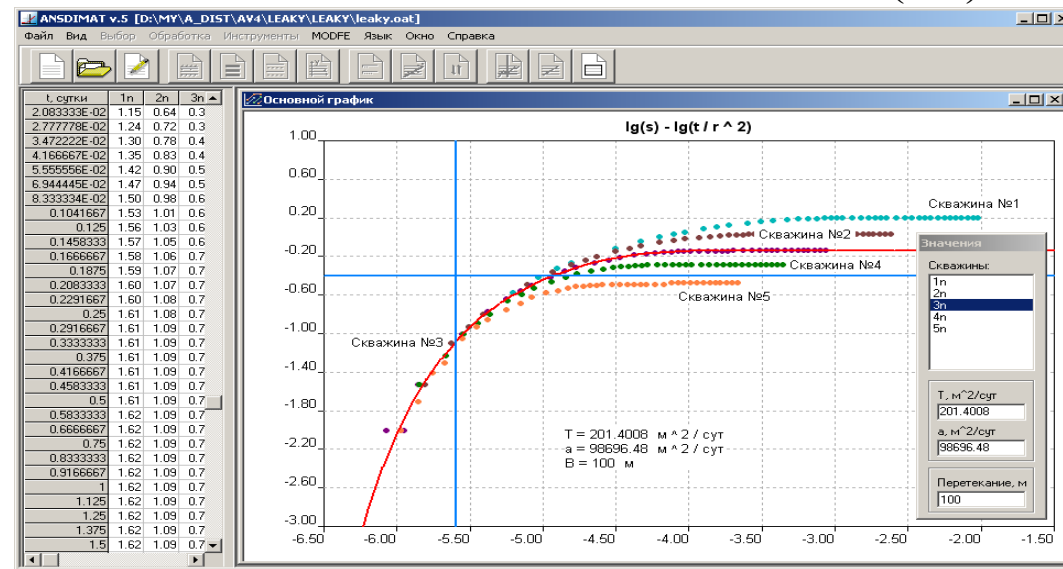


Безнапорный пласт



Пласт с перетеканием

$$\lg W\left(u, \frac{r}{B}\right) - \lg \frac{1}{u}$$



Способ эталонной кривой: нестандартные графики

Эталонная кривая для полуограниченного пласта и пласта-полосы:

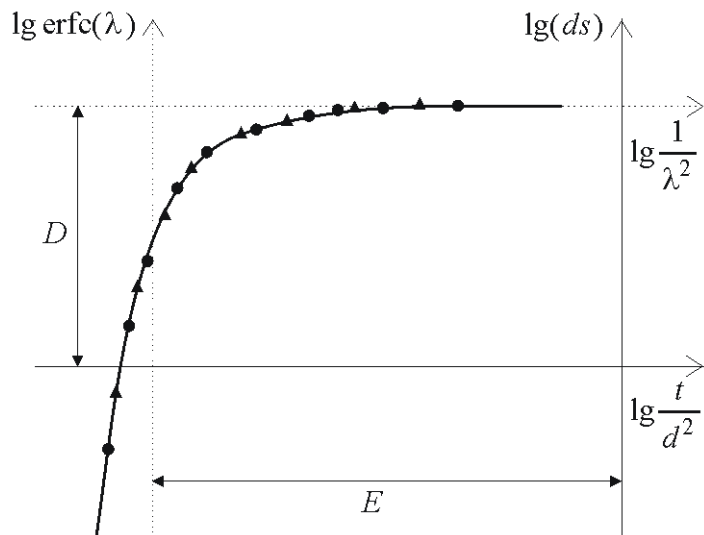
$$\lg W'(u) - \lg \frac{1}{u}$$

$$W'(u) = W(u) - W(ur'); \quad r' = (\rho / r)^2$$

$$W'(u) = W(u) + \sum_{j=1,3,\dots}^n \sum_{i=1}^2 (-1)^{(j+2i-1)/2} W(ur_i'^j) + \sum_{j=2,4,\dots}^n (-1)^{j/2} \sum_{i=1}^2 W(ur_i'^j); \quad r_i'^j = (\rho_i^j / r)^2$$

Точечный источник

Эталонная кривая для точечного источника в полуограниченном и ограниченном пласте



$$\lg \text{erfc}'(\lambda) - \lg \frac{1}{\lambda^2}$$

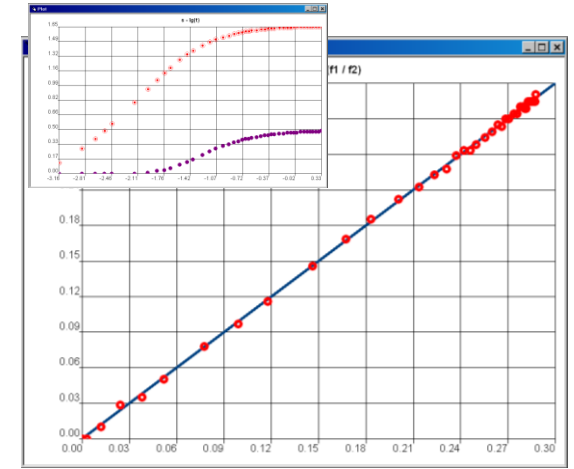
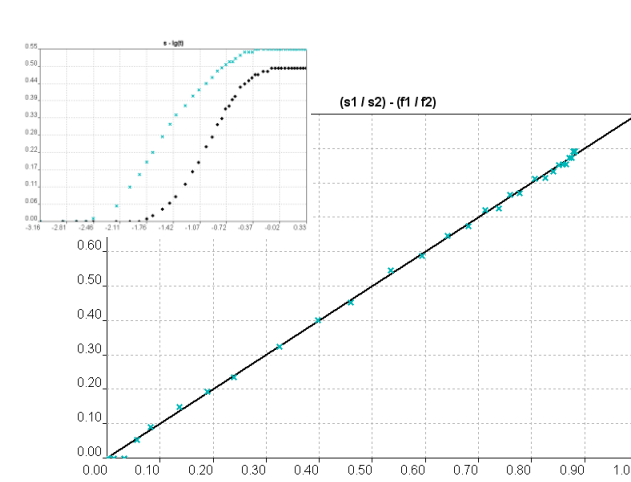
$$\text{erfc}'(\lambda) = \text{erfc} \lambda - \frac{1}{r'} \text{erfc}(\lambda r') \quad r' = \rho / d$$

$$\text{erfc}'(\lambda) = \text{erfc} \lambda + \sum_{j=1,3,\dots}^n \sum_{i=1}^2 \frac{(-1)^{(j+2i-1)/2}}{r_i'^j} \text{erfc}(\lambda r_i'^j) + \sum_{j=2,4,\dots}^n (-1)^{j/2} \sum_{i=1}^2 \frac{1}{r_i'^j} \text{erfc}(\lambda r_i'^j)$$

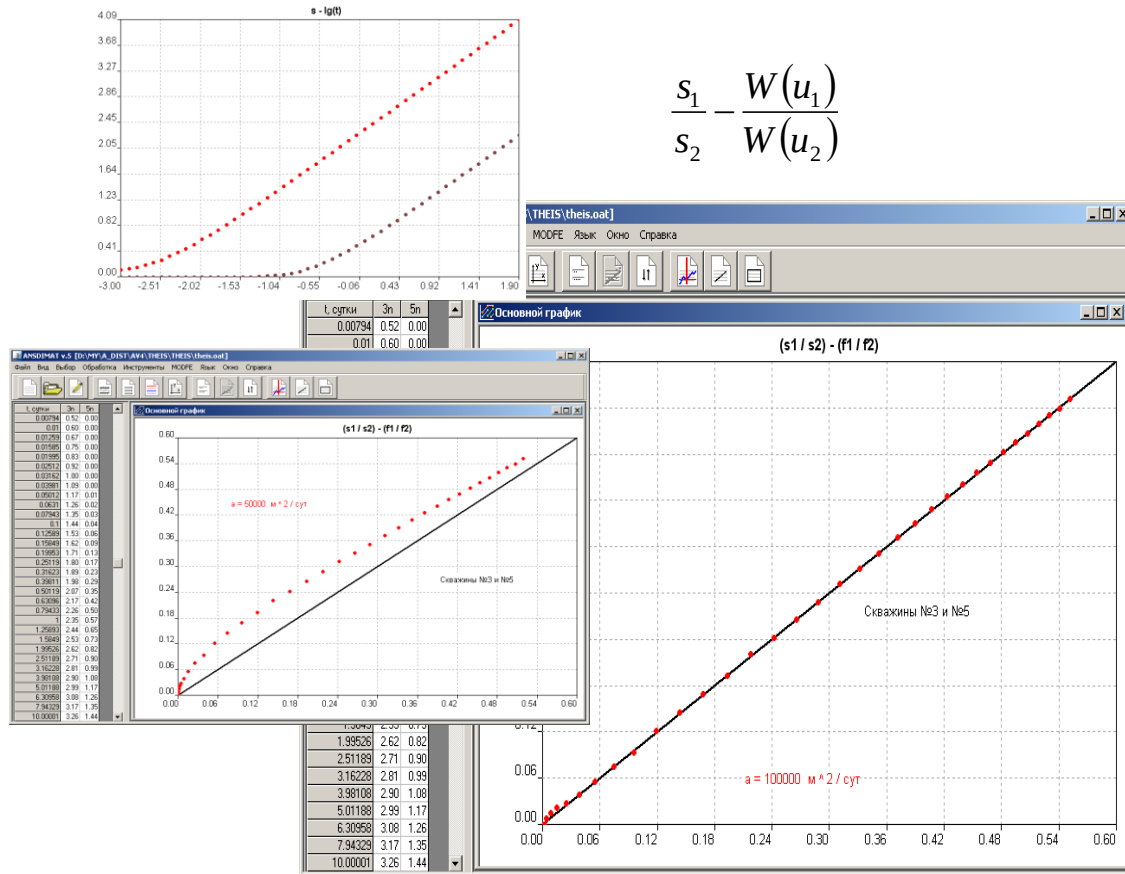
$$r_i'^j = \frac{\rho_i^j}{d}$$

Способ биссектрисы

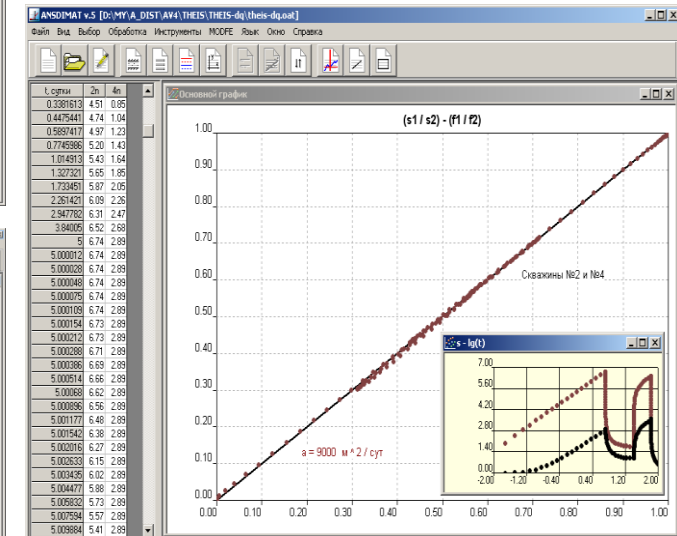
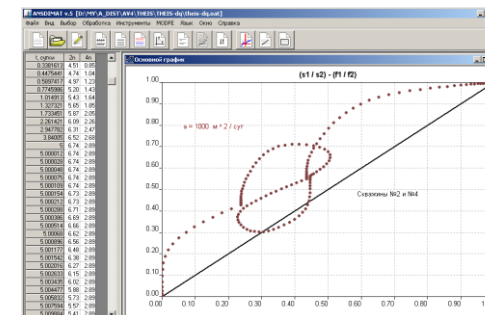
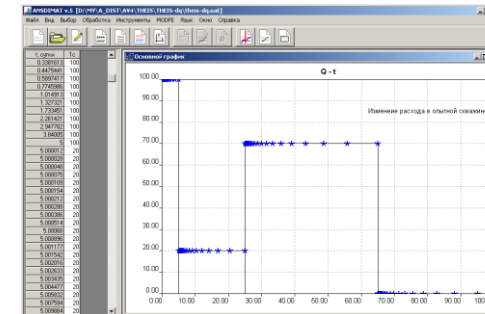
$$\begin{cases} s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right) \\ s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right) \end{cases} \Rightarrow \frac{s_1}{s_2} = \frac{W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right)}{W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right)} \Rightarrow \frac{s_1}{s_2} = \frac{W(u_1)}{W(u_2)}$$



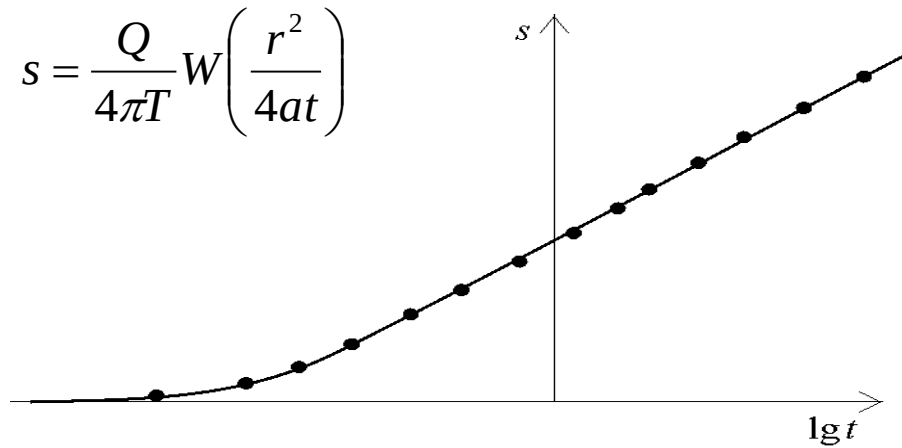
$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{W(u_1)}{W(u_2)}$$



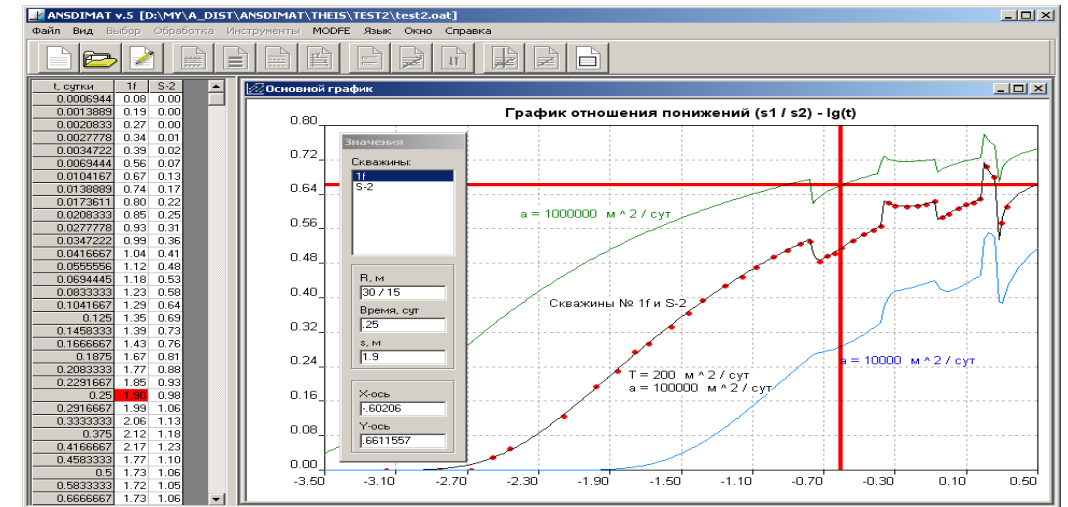
Переменный расход



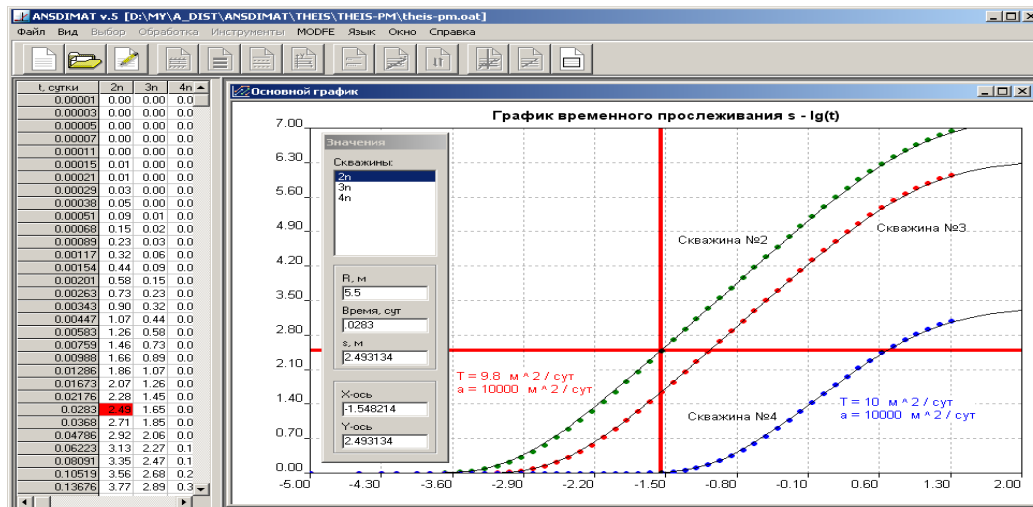
Подбор параметров: решение прямой задачи



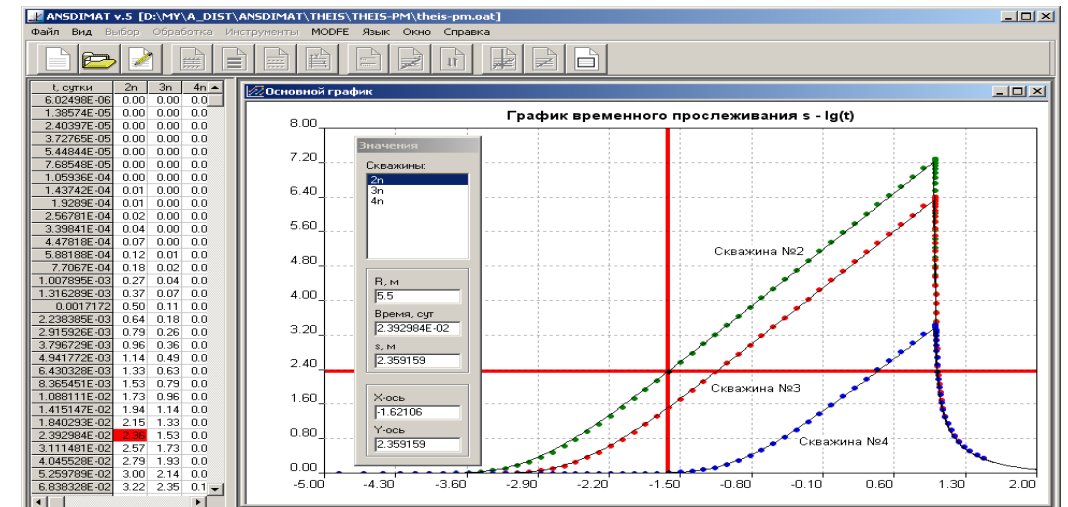
Переменный расход, оценка чувствительности



Восстановление

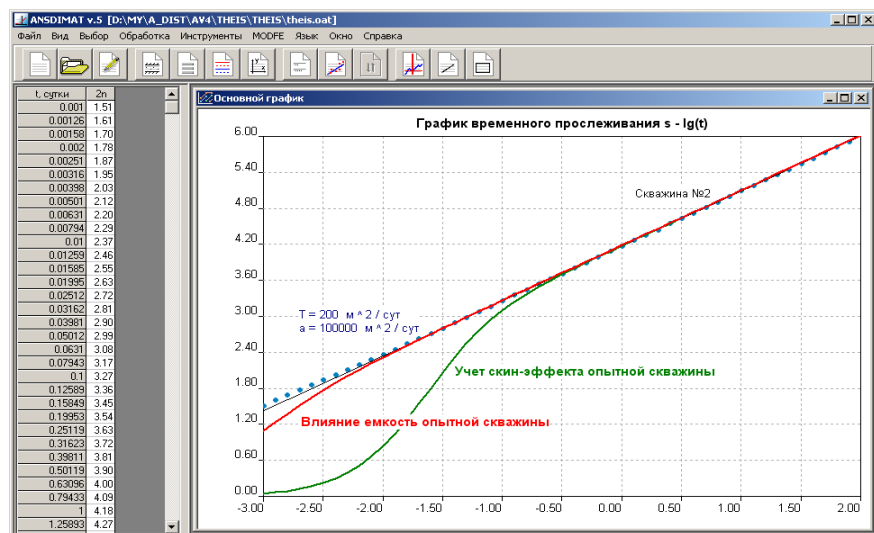


Откачка и восстановление

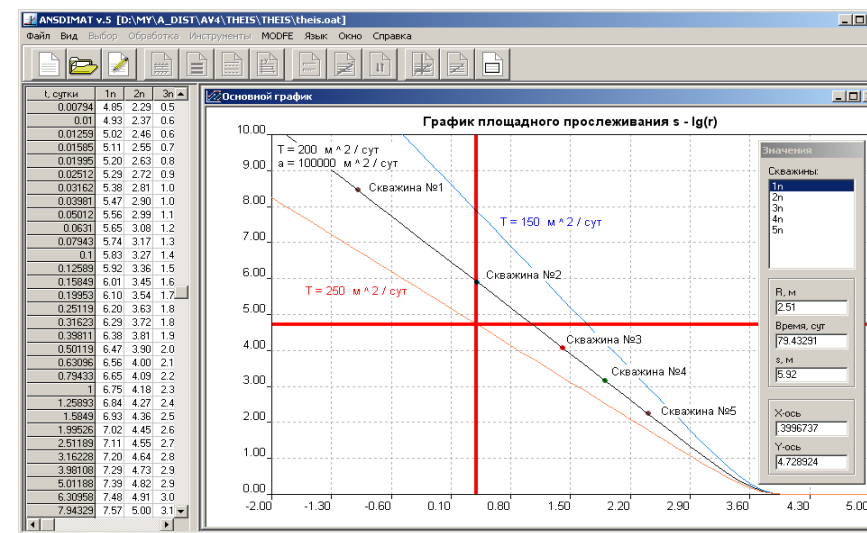


Подбор параметров: возможности

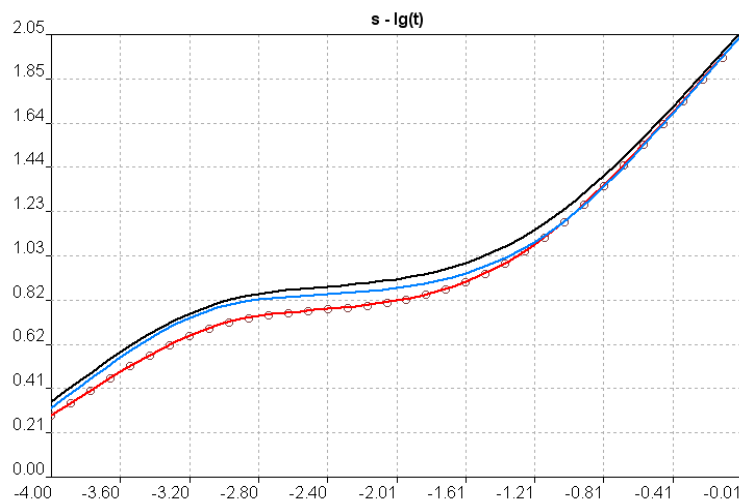
Учет различных факторов



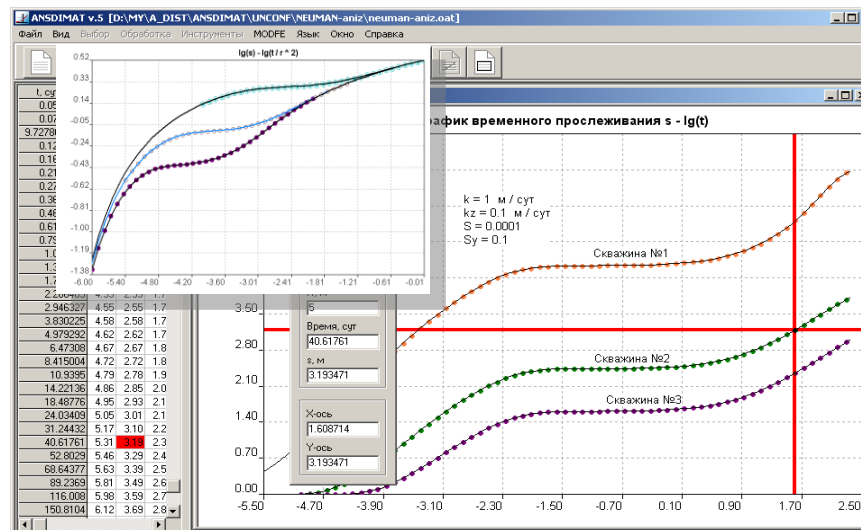
Прогноз влияния откачки, оценка чувствительности



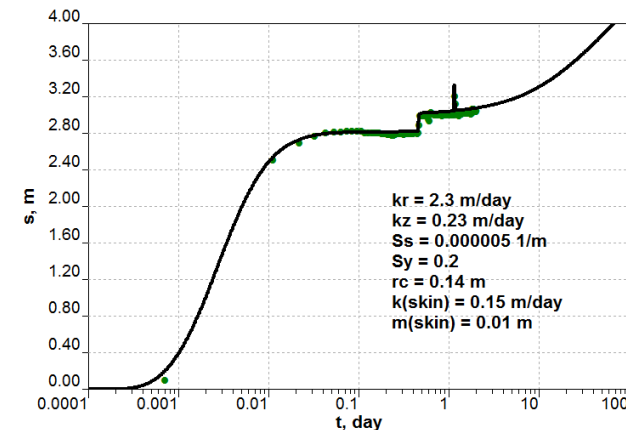
Исследовательская работа: сравнение решений



Безнапорный пласт: описание трех режимов



Емкость, скин, анизотропия,
длина фильтра, переменный дебит



Подбор параметров: групповая откачка с переменным расходом

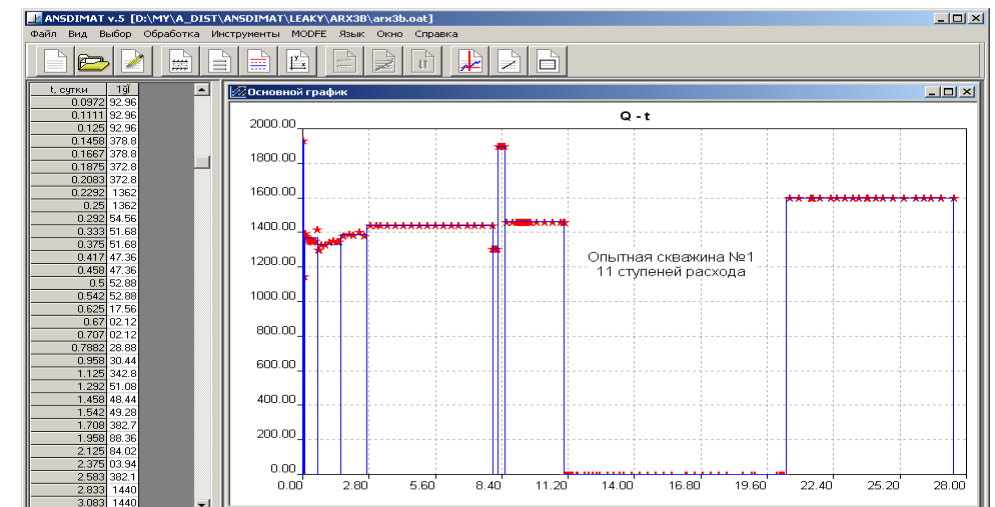
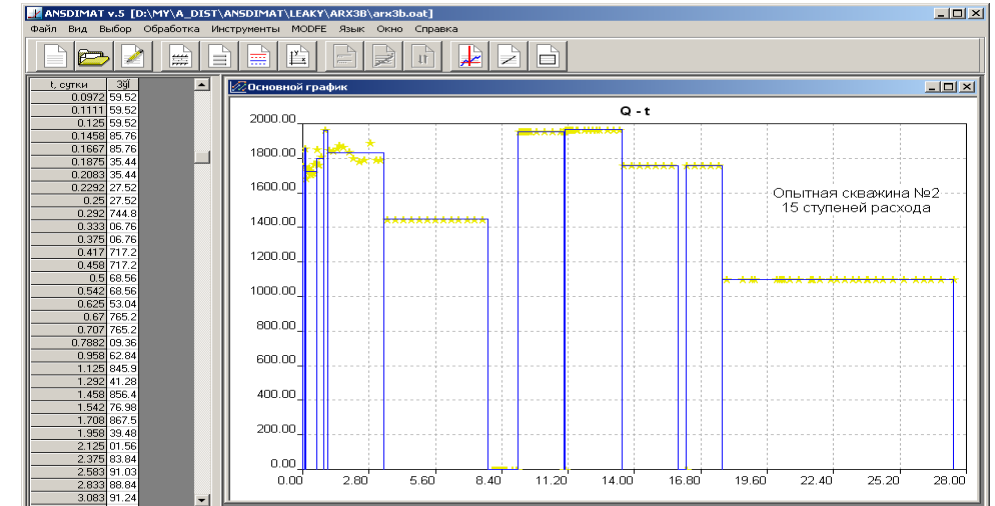
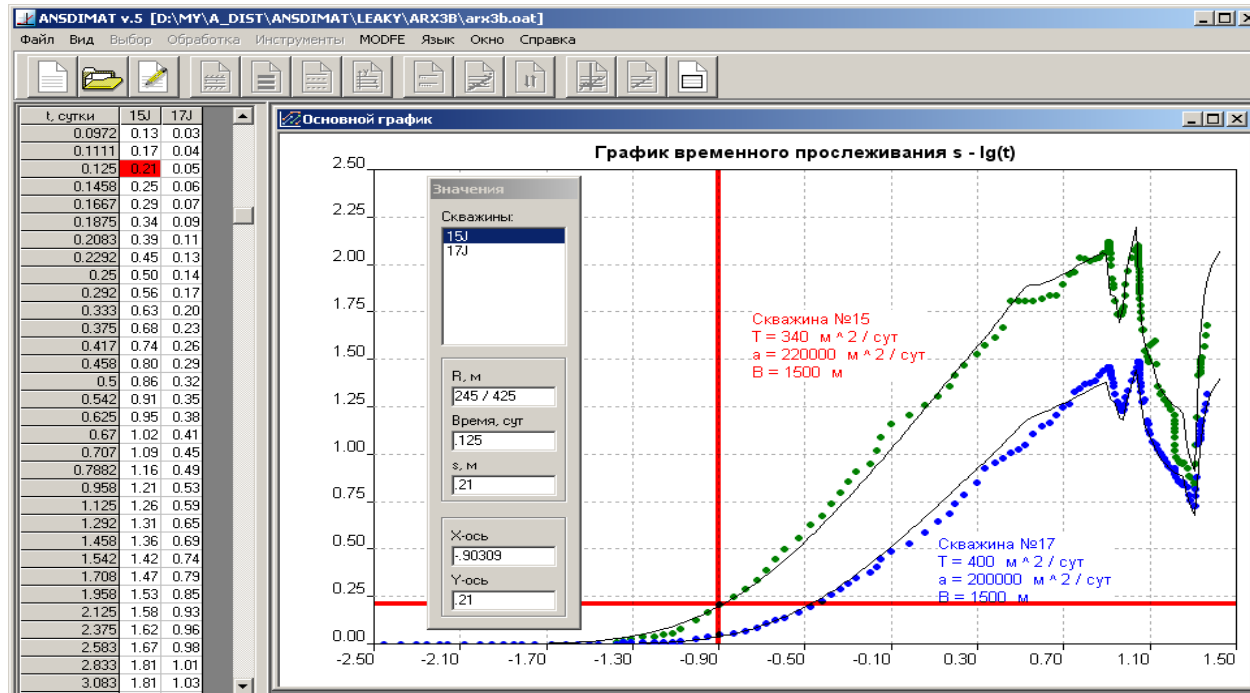
Длительность откачки – около 1 месяца

Опытные скважины – 2

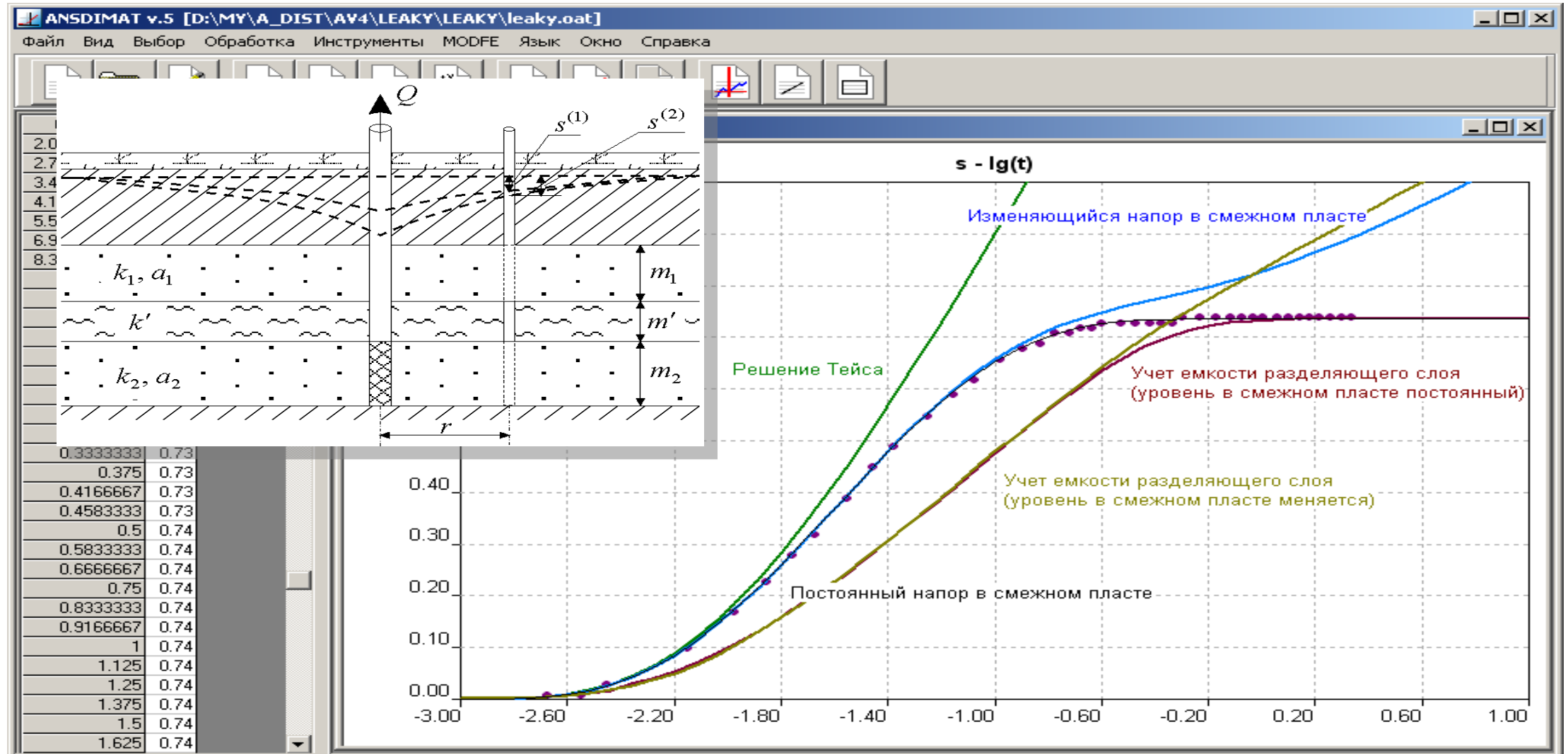
Наблюдательные скважины – 30

Дебит – переменный

Схема – пласт с перетеканием



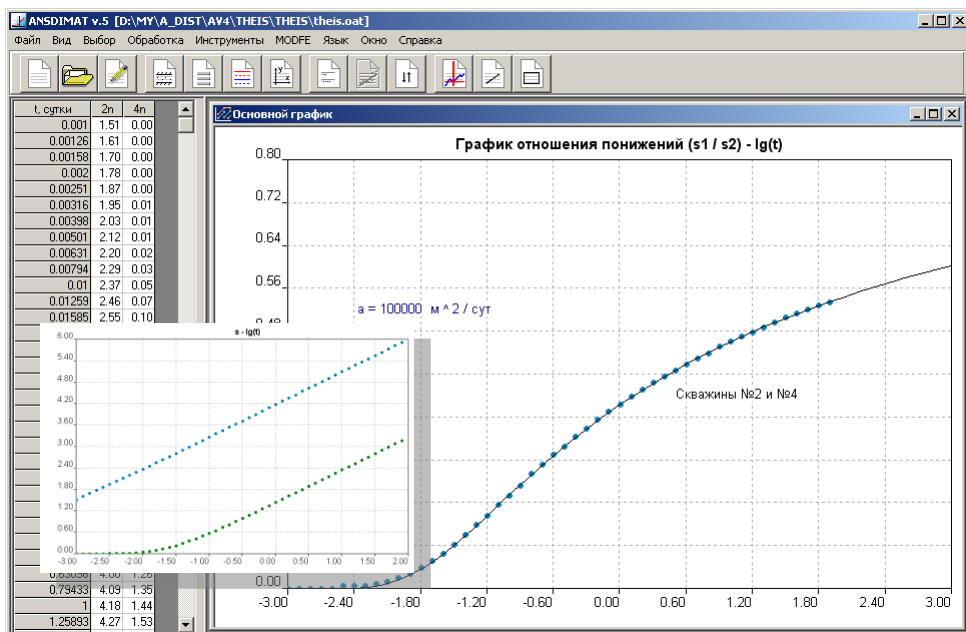
Подбор параметров: ВОДОНОСНЫЙ КОМПЛЕКС С ПЕРЕТЕКАНИЕМ



Подбор параметров: способ отношения понижений и разности понижений

$$\begin{cases} s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right) \\ s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right) \end{cases} \Rightarrow \frac{s_1}{s_2} = \frac{W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right)}{W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right)}$$

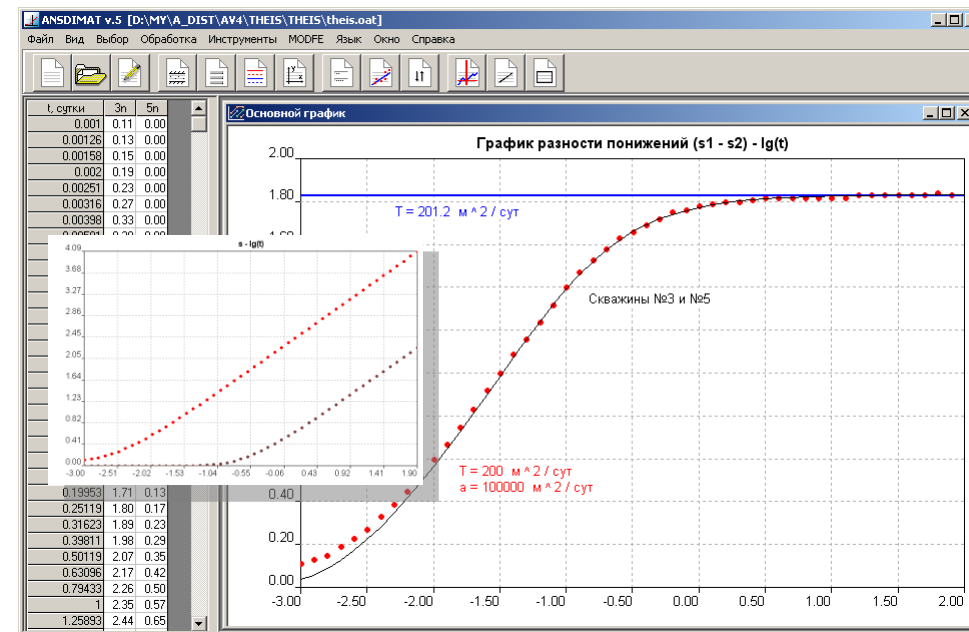
$$\frac{s_1}{s_2} - \lg t$$



Зависит только от пьезопроводности

$$\begin{cases} s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right) \\ s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right) \end{cases} \Rightarrow s_1 - s_2 = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r_1^2}{4at}\right) - W\left(\frac{r_2^2}{4at}\right) \right] \approx \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

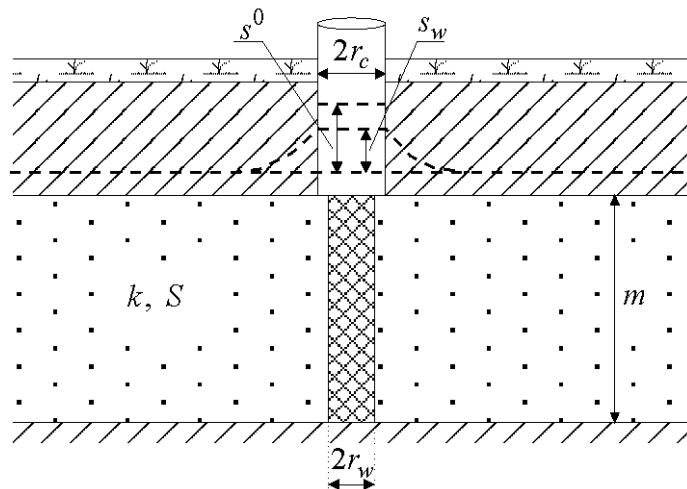
$$(s_1 - s_2) - \lg t$$



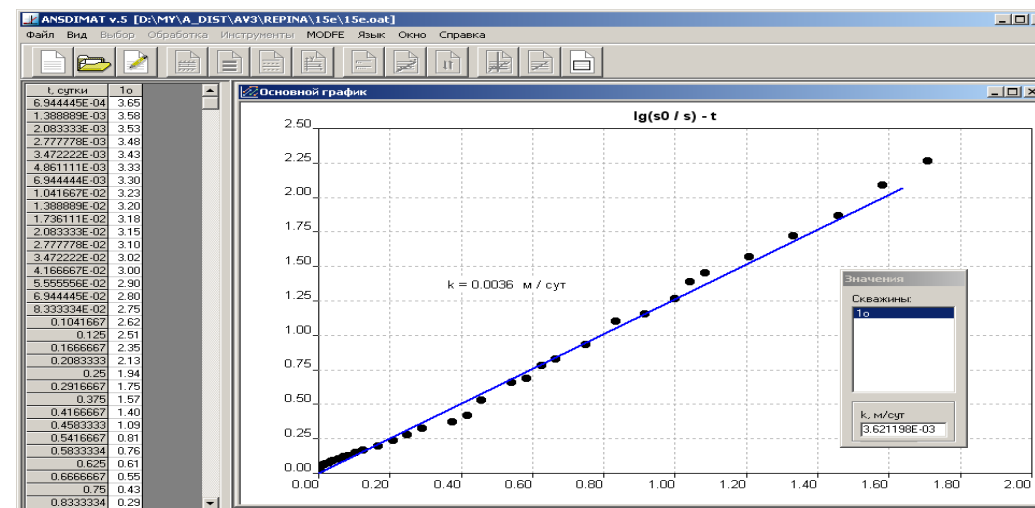
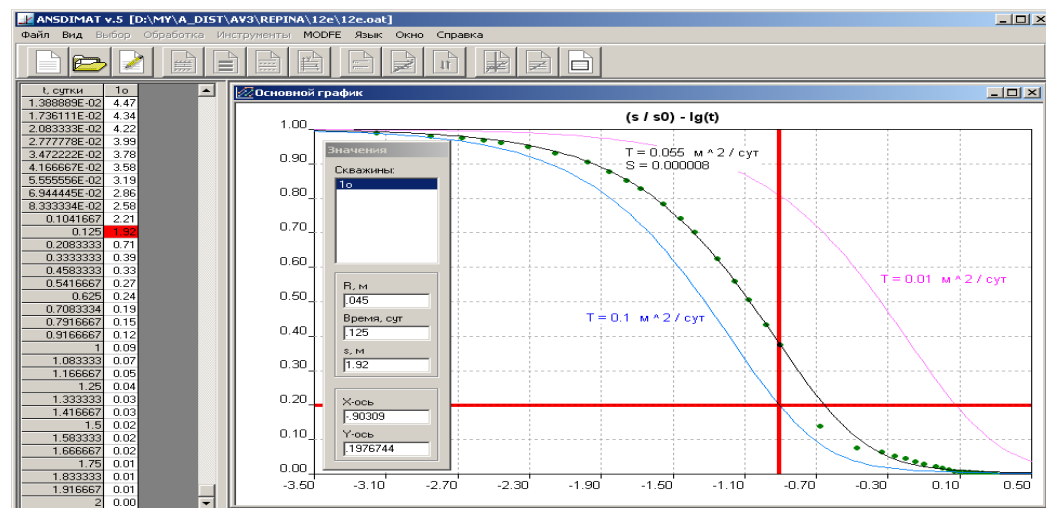
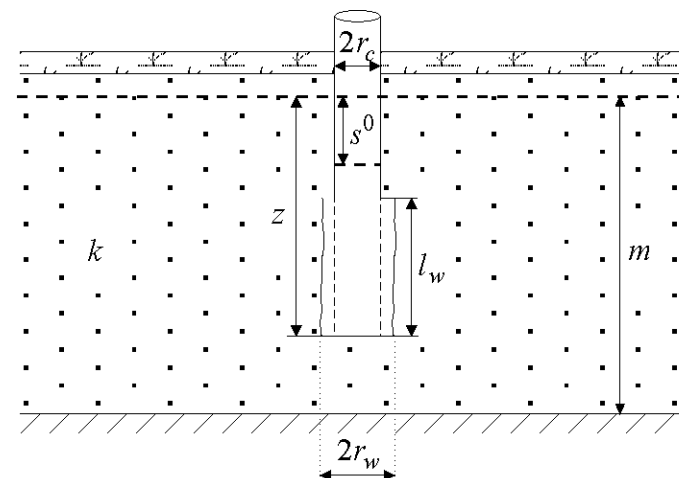
Прямолинейный участок зависит только от проводимости

Обработка экспресс-опробования: способы подбора и прямой линии

Решение Купера



Решение Бауэра и Райса



Решение обратной задачи

Метод наименьших квадратов

$$s_i = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at_i}\right); \quad c = \frac{Q}{4\pi T}$$

$$\delta = \sum_{i=1}^n \left[s_i - c W\left(\frac{r^2}{4at_i}\right) \right]^2$$

$$\left\{ \frac{\partial f}{\partial a} = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[s_i - c W\left(\frac{r^2}{4at_i}\right) \right]^2 \right\}' = 0 \right.$$

$$\left. \frac{\partial f}{\partial c} = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[s_i - c W\left(\frac{r^2}{4at_i}\right) \right]^2 \right\}' = 0 \right.$$

UCODE_2005

Обратное решение (UCODE)

Параметры Наблюдения Управление

Список параметров:

- ☒ Проводимость, м²/сут
- ☒ Пьезопроводность, м²/сут

150 Начало подбора

Решатель:

Функция влияния скважины (Тейс)

Сравнение... Пуск... Закреть Справка...

AMWELLS: построение карт гидроизогипс, построение разрезов, расчет зон санитарной охраны, дренаж карьерных полей

