

# РЕШЕНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Докладчик: **Истомин Андрей Дмитриевич**

## Проблемы:

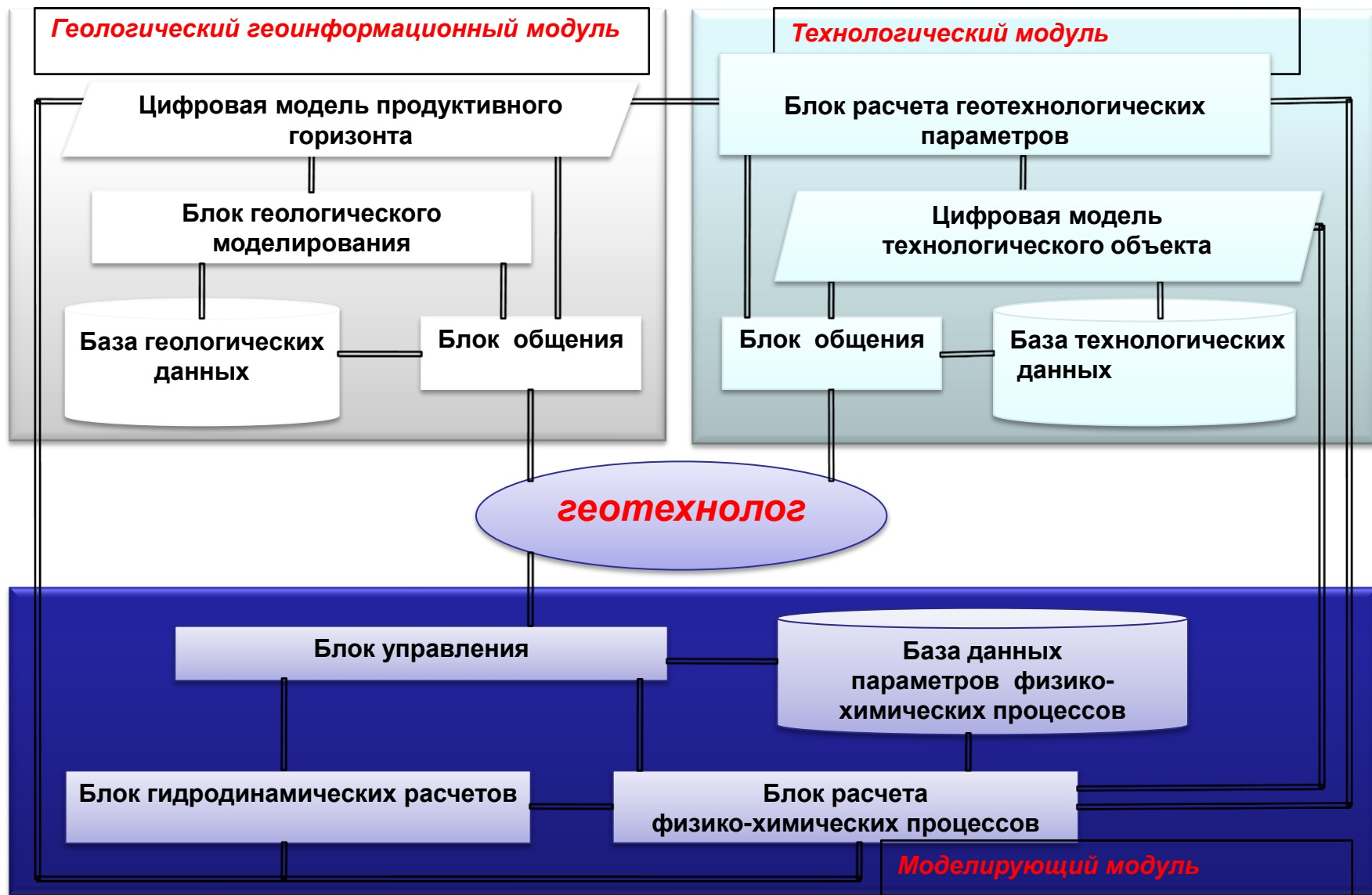
- недостаток информации о состоянии продуктивного горизонта;
- значительные объемы косвенной разнородной, зачастую не согласующейся информации;
- сложность происходящих при СПВ процессах и их высокая инерционность;
- ограниченными возможностями воздействия на движение растворов.

## Решение:

- создание единого информационного пространства геотехнологического предприятия ПВ;
- использование методов математического моделирования процесса ПВ для решения геотехнологических и экологических задач.

# Структура геотехнологической моделирующей системы

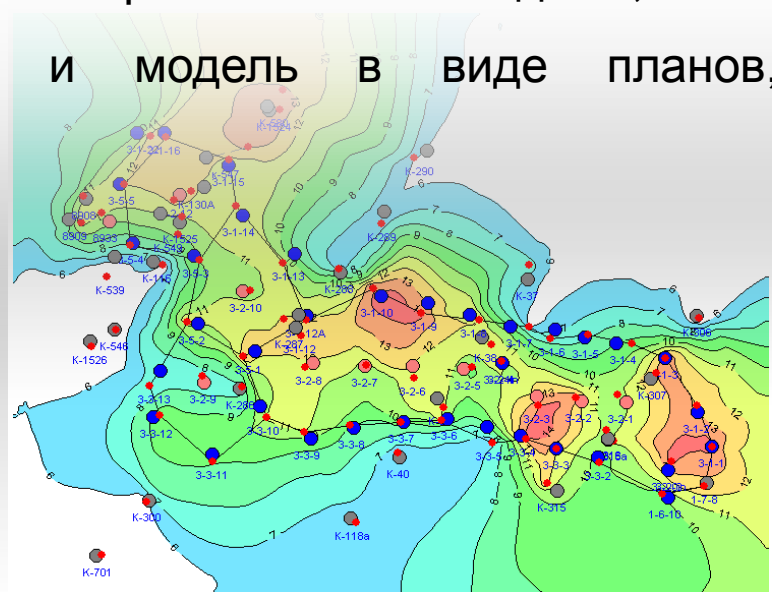
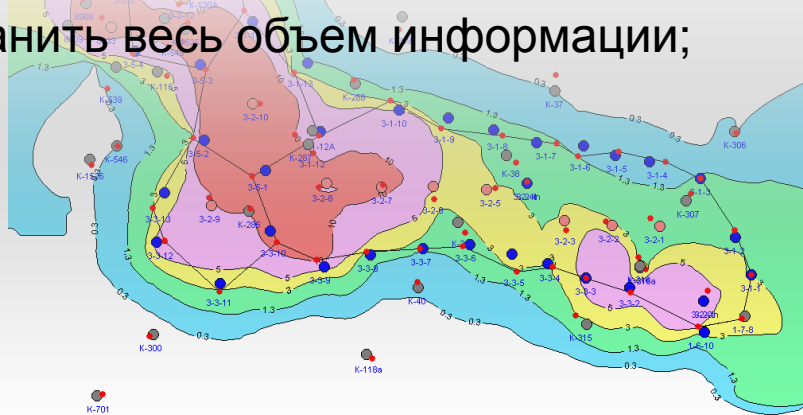
ИФ  
М  
А  
В  
И  
Н  
И  
Д  
С



**Назначение:** подготовка, хранение и визуализация цифровой модели геологической среды (*распределения мощности, проницаемости, пористости, содержания минералов, региональный поток, состав пластовых вод и т.д.*)

**Позволяет:**

- импортировать исходные геологические данные и распределения величин из внешних источников;
- вводить и обрабатывать исходные данных;
- строить распределения физических величин различными методами;
- визуализировать исходные данные и модель в виде планов, распределений, таблиц графиков и т.д.;
- хранить весь объем информации;

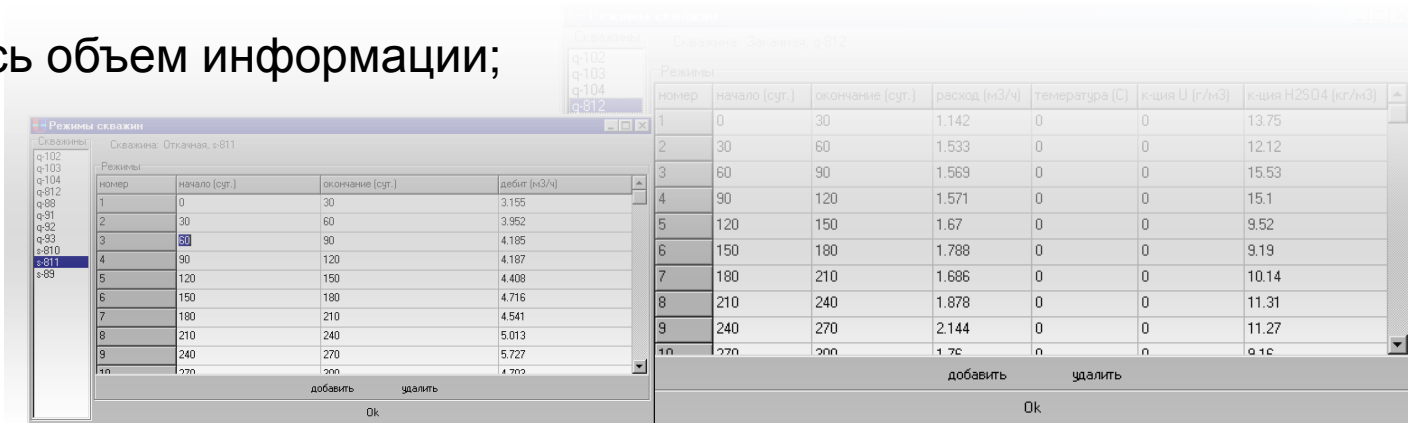


# Технологический модуль

**Назначение:** подготовка, хранение и визуализация цифровой модели технологических объектов добычного комплекса геотехнологического предприятия (*дебиты скважин, составы растворов, структура добычного комплекса и т.д.*)

**Позволяет:**

- импортировать исходные данные по технологических объектов и структуре добычного комплекса;
- вводить и обрабатывать исходные данных;
- рассчитывать на основе результатов моделирования геотехнологические показатели;
- визуализировать данные в виде планов, схем, таблиц и графиков и т.д.;
- хранить весь объем информации;



The screenshot displays the 'Режимы скважин' (Well Regimes) window. It features a list of wells on the left and a main table with columns for 'номер' (number), 'начало (сут.)' (start), 'окончание (сут.)' (end), 'расход (м3/ч)' (consumption), 'температура [С]' (temperature), 'к-ция U (г/м3)' (U ratio), and 'к-ция H2SO4 (кг/м3)' (H2SO4 ratio). The table contains 10 rows of data.

номер	начало (сут.)	окончание (сут.)	расход (м3/ч)	температура [С]	к-ция U (г/м3)	к-ция H2SO4 (кг/м3)
1	0	30	1.142	0	0	13.75
2	30	60	1.533	0	0	12.12
3	60	90	1.569	0	0	15.53
4	90	120	1.571	0	0	15.1
5	120	150	1.67	0	0	9.52
6	150	180	1.788	0	0	9.19
7	180	210	1.686	0	0	10.14
8	210	240	1.878	0	0	11.31
9	240	270	2.144	0	0	11.27
10	270	300	1.76	0	0	9.16

## Моделирующий модуль

**Назначение:** математическое моделирование физико-химических процессов при добыче урана методом ПВ

**Позволяет рассчитывать :**

- распределение давления;
- распределение компонентов раствора;
- изменение состояние вмещающей породы;
- физические величины характеризующие состояние и работу технологических объектов.

**Описывает:**

- гидродинамические процессы;
- нестационарные гомогенные и гетерогенные физико-химические процессы.

**Содержит :** базу кинетическим коэффициентам и параметрам равновесия протекающих в системе физико-химических процессов

## Описываются:

- распределение давления;
- нестационарную фильтрацию растворов;
- конвективный массоперенос;
- гидродинамическую дисперсию.

## Учитывает:

- неоднородность строения геологической среды:
  - проницаемости;
  - пористости;
  - мощность;
- реальные режимы работы технологических объектов:
  - тип скважины;
  - дебиты скважин;
  - состав нагнетаемых растворов;

### Описываются:

- неравновесное взаимодействие кислоты с различными кислотопоглощающими минералами;
- неравновесное растворение-осаждение урана в различных формах;
- гомогенные кислотно-основные процессы;
- неравновесные гомогенные и гетерогенные окислительно-восстановительные процессы;
- неравновесная сорбция и десорбция;
- комплексообразование.

### Учитывает:

- неоднородность минералогического состава руд и рудовмещающих пород:
  - содержания различных кислотопоглощающих минералов;
  - содержания различных урансодержащих минералов;
  - содержания различных восстанавливающих минералов;
- реальный состав пластовых вод.



# Рабочее окно геотехнологической моделирующей системы

СТИИ И АКАДЕМИИ

Umine2D - \\Arc2\bufer\sveta\171\171.isl (71)

Файл Объекты Модель Расчет Сервис Справка ?

Карта: конц. H2SO4 в прот. порах

Карта: конц. U в прот. порах

Вр. граф.: Концентрация, Концентра...

Вр. граф.: Концентрация

Вр. граф.: Концентрация

Вр. граф.: Концентрация

**Объекты**

Массив: конц. H2SO4 в прот. порах

Единица измерения: (г/л)

Данные

Отрисовка

заповнение

прозрачность

ступени

53

**Режимы скважин**

Скважины

Скважина: нагнетательная, 1-6-10

№	начало (дд.мм.гг)	окончание (дд.мм.гг)	дебит (м3/ч)	H2SO4 (г/л)	U (г/л)	Eh (мВ)	Y (г/л)
1	01.05.2002	01.06.2002	0.41	10.04	2.5	300	50
2	01.06.2002	01.07.2002	1.17	11.02	2.4	300	50
3	01.07.2002	01.08.2002	1.09	14.8	3.3	300	1200
4	01.08.2002	01.09.2002	1.17	10.38	5.3	300	1200
5	01.09.2002	01.10.2002	1.11	10.26	5.95	300	1200
6	01.10.2002	01.11.2002	1	9.23	3	300	1200
7	01.11.2002	01.12.2002	0.95	8.22	2.74	300	1200

Отрисовка массива

Цвета заливок, цвета и уровни изоли

0.1

1

2

3

4

5

6

7

8

9

масштаб автоматический

максимум 6.53748

минимум -0.00298337

Цветовые переходы

заливки HSV

изолиний RGB

Надписи

37 70 Шрифт ...

тонкие  жирные

выч. 0 множ. 1

Вр. граф.: Масса

Масса, 1E+04 кг

Время

1, Извлечено U (кг) 2, Извлечено U (кг) 3, Извлечено U (кг) 4, Извлечено U (кг)

Ok Отмена Применить

## Решаемые геотехнологические и геоэкологические задачи

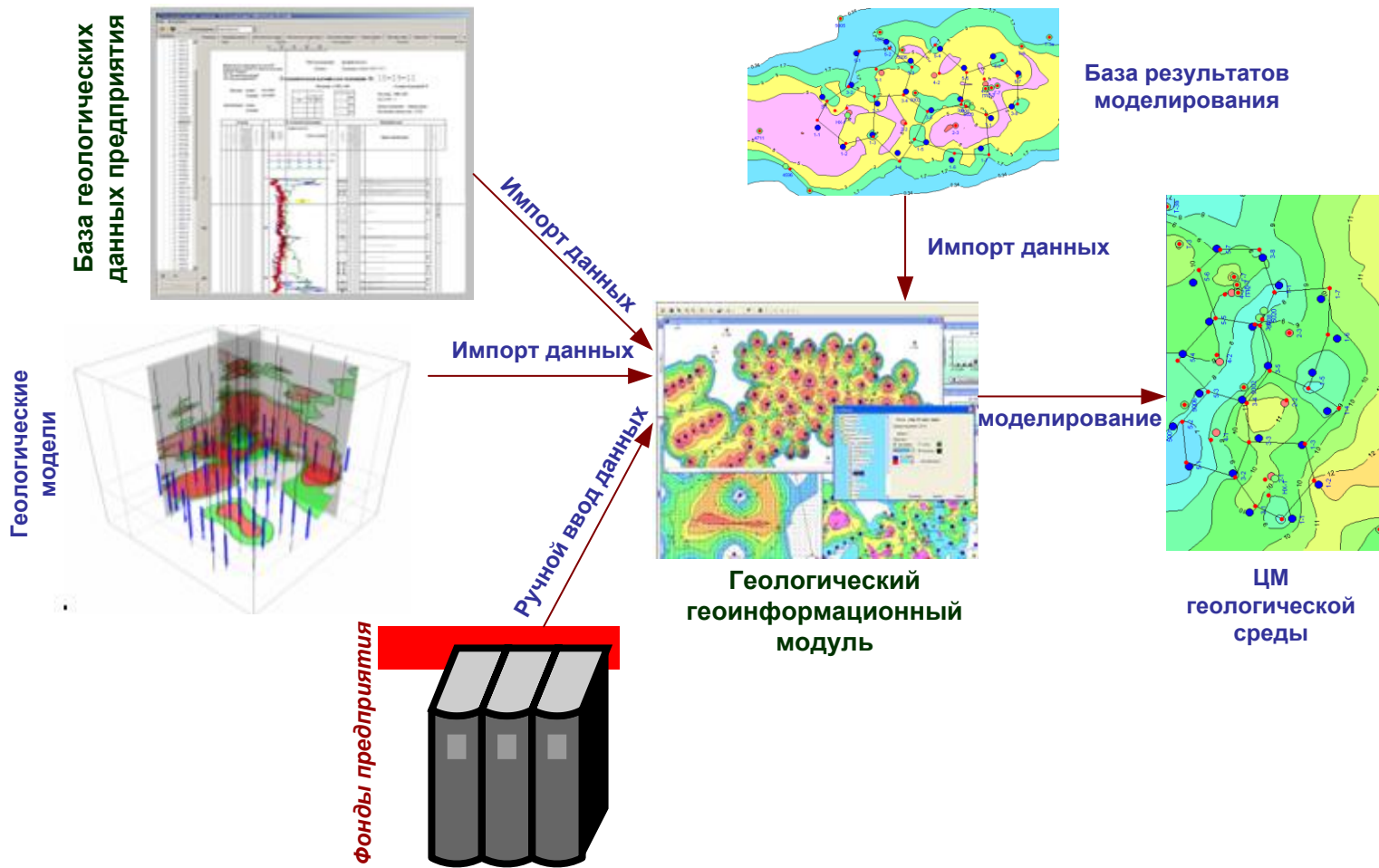
- прогнозирование геотехнологических показателей отработки месторождений (*разведка*);
- выбор наилучших схем вскрытия залежи и режимов отработки технологических блоков (*проектирование*);
- планирование отработки эксплуатационных блоков (*проектирование и отработка*);
- оптимизация режимов отработки действующих эксплуатационных блоков с целью повышения качества продуктивных растворов, снижения расхода реагентов и др. (*отработка*);
- анализ степени отработки отдельных участков эксплуатационных блоков и подготовка решений для проработки целиков (*отработка и вывода из эксплуатации*);
- оценка геоэкологических последствий и планирование природоохранных мероприятий (*все стадии от разведки до ликвидации*).

## Методика решения задачи

- создание цифровой модели геологической среды;
- создание цифровых моделей технологических объектов;
- определение параметров моделирования физико-химических процессов;
- валидация моделей, при необходимости их калибровка;
- проведение многовариантного моделирования;
- анализ результатов моделирования;
- подготовка оптимальных решений и их проверка с помощью моделирования.

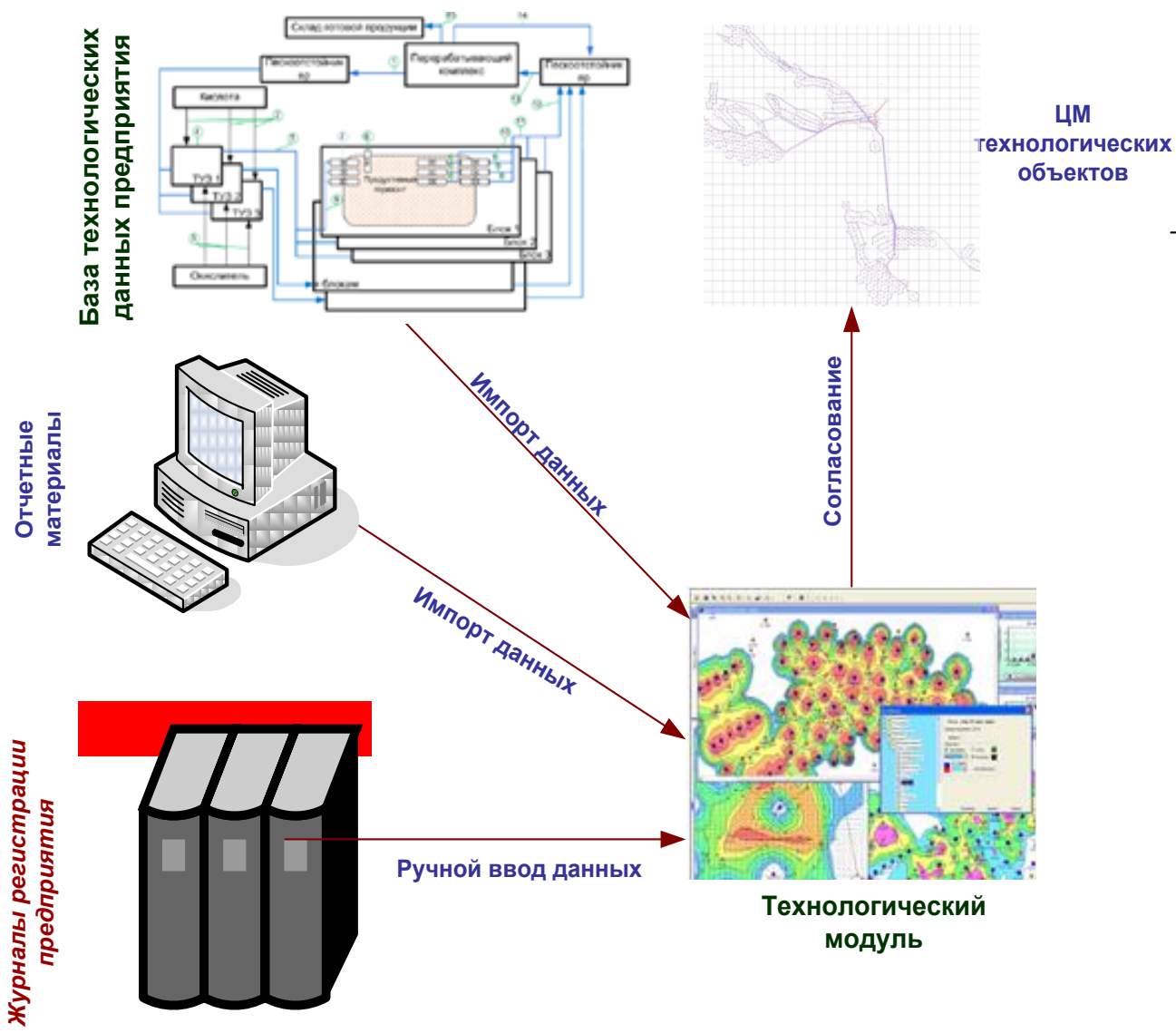
# Создание цифровой модели геологической среды

СТИ ИТД  
КВ  
МИФИ

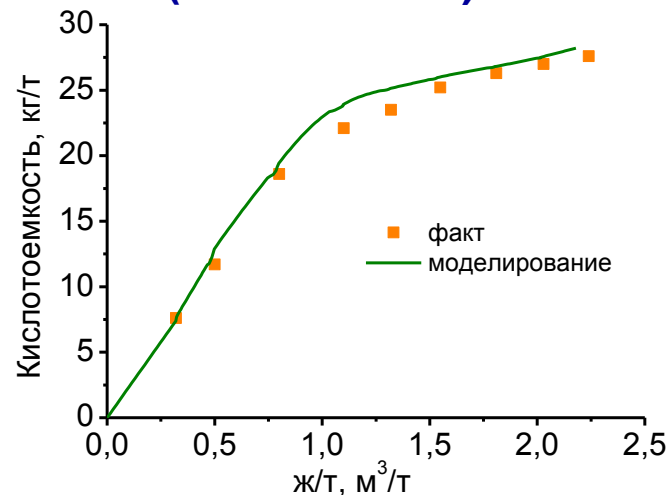
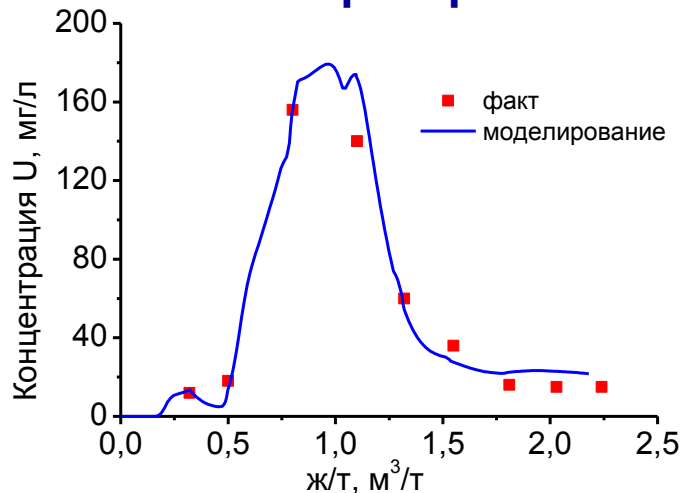


# Создание цифровых моделей технологических объектов

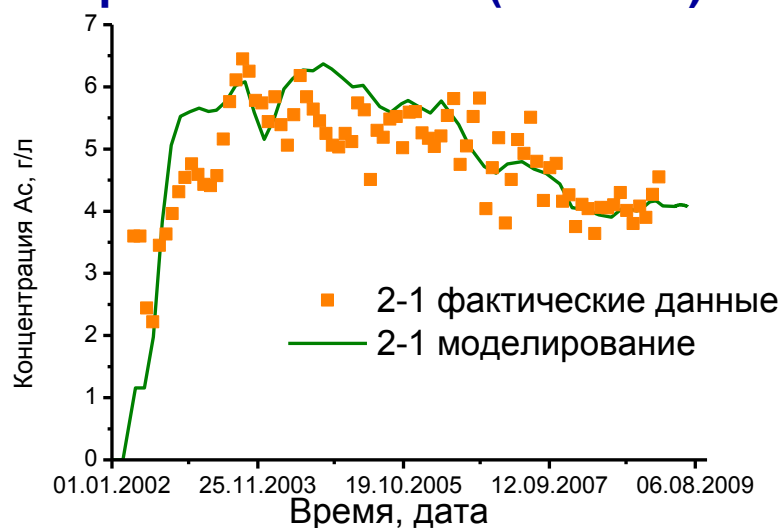
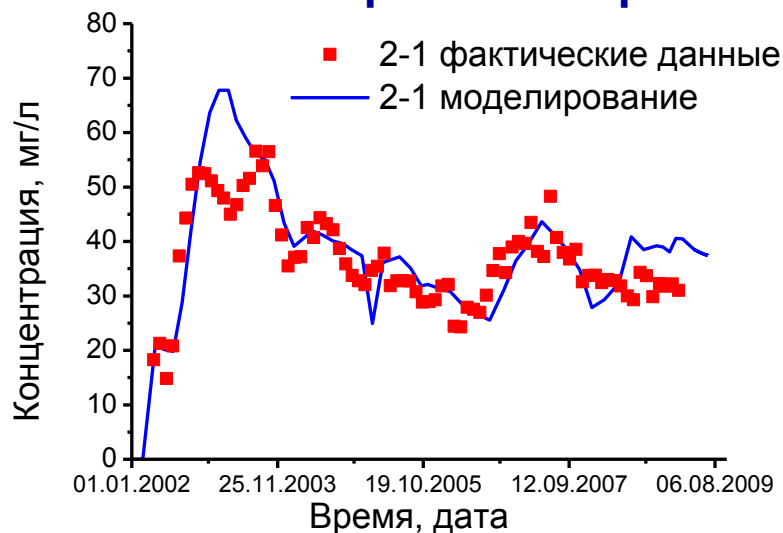
СТИ ИТД  
КВ  
МИФ



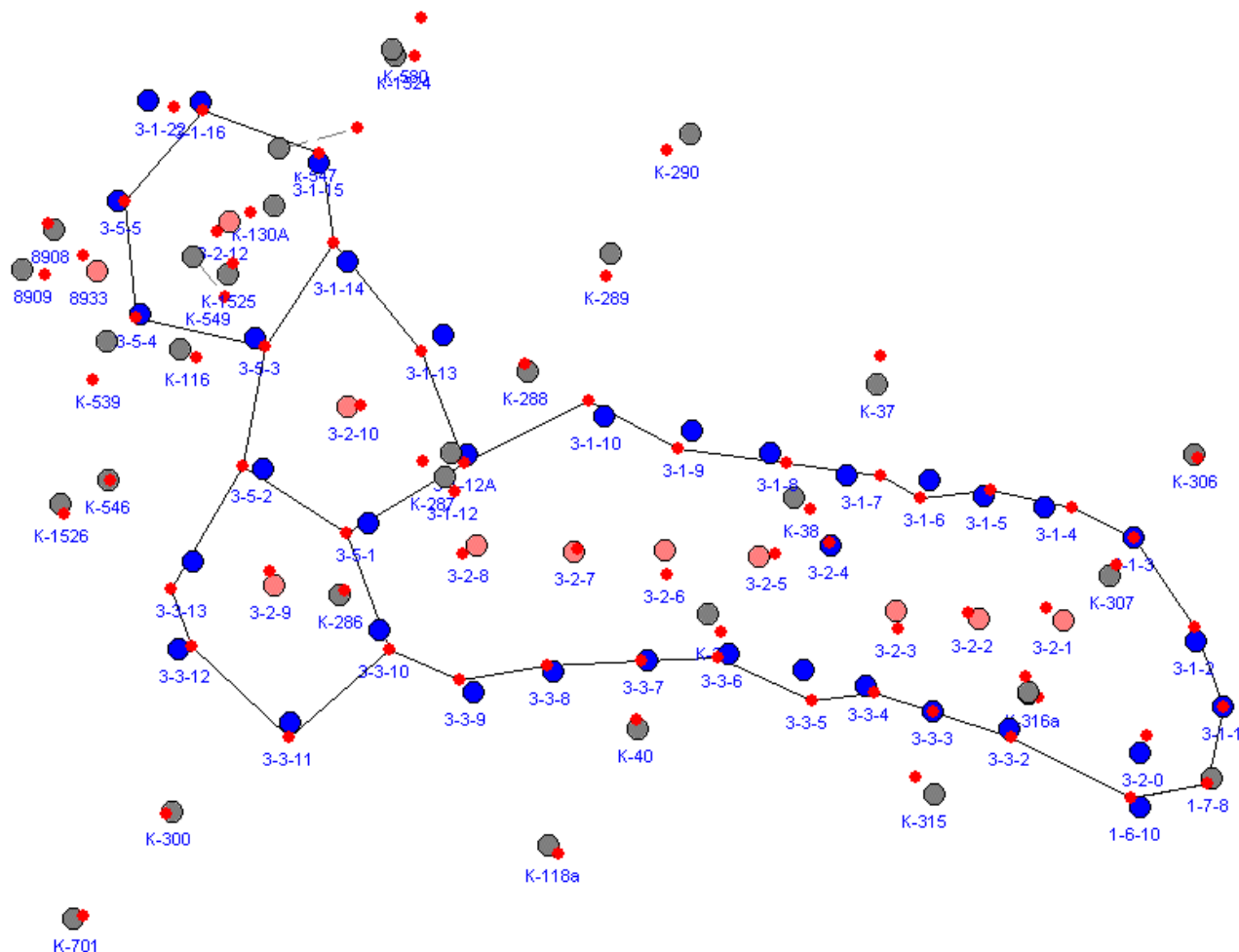
## на основе лабораторных экспериментов (*опыт Хг2-т1*)



## на основе калибровочных расчетов отработки блоков (*блок 2-1*)



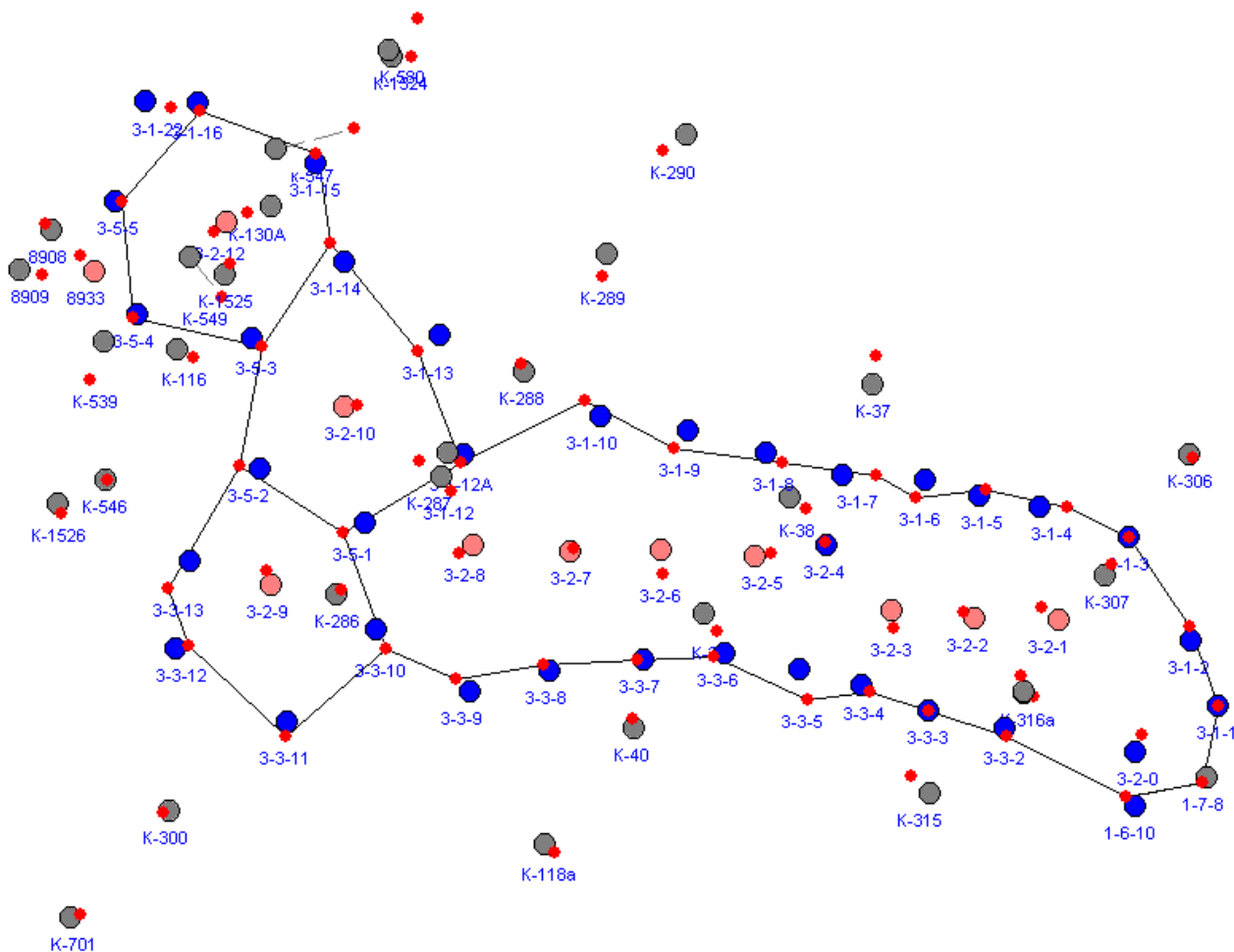
## Концентрация кислоты в растворе



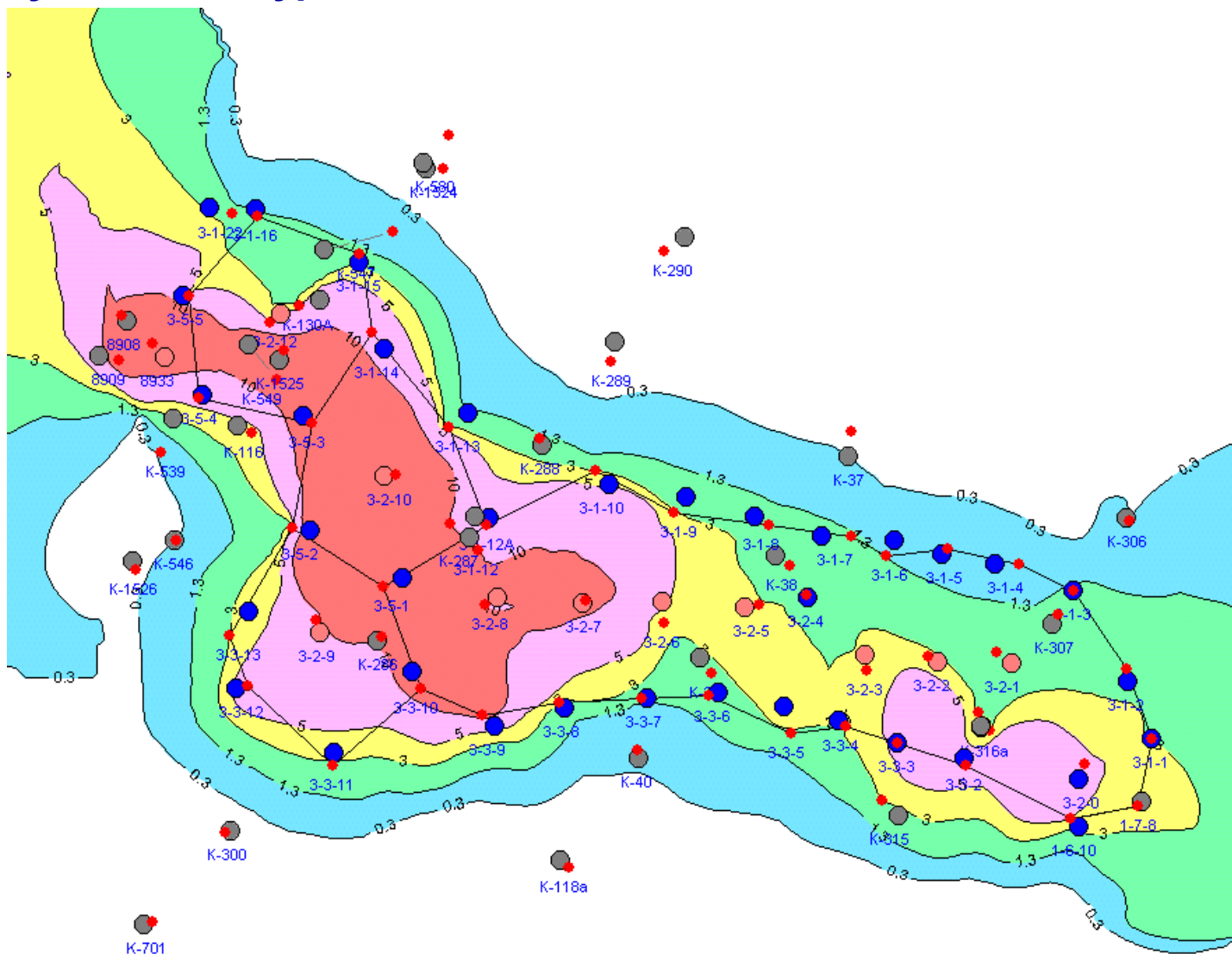




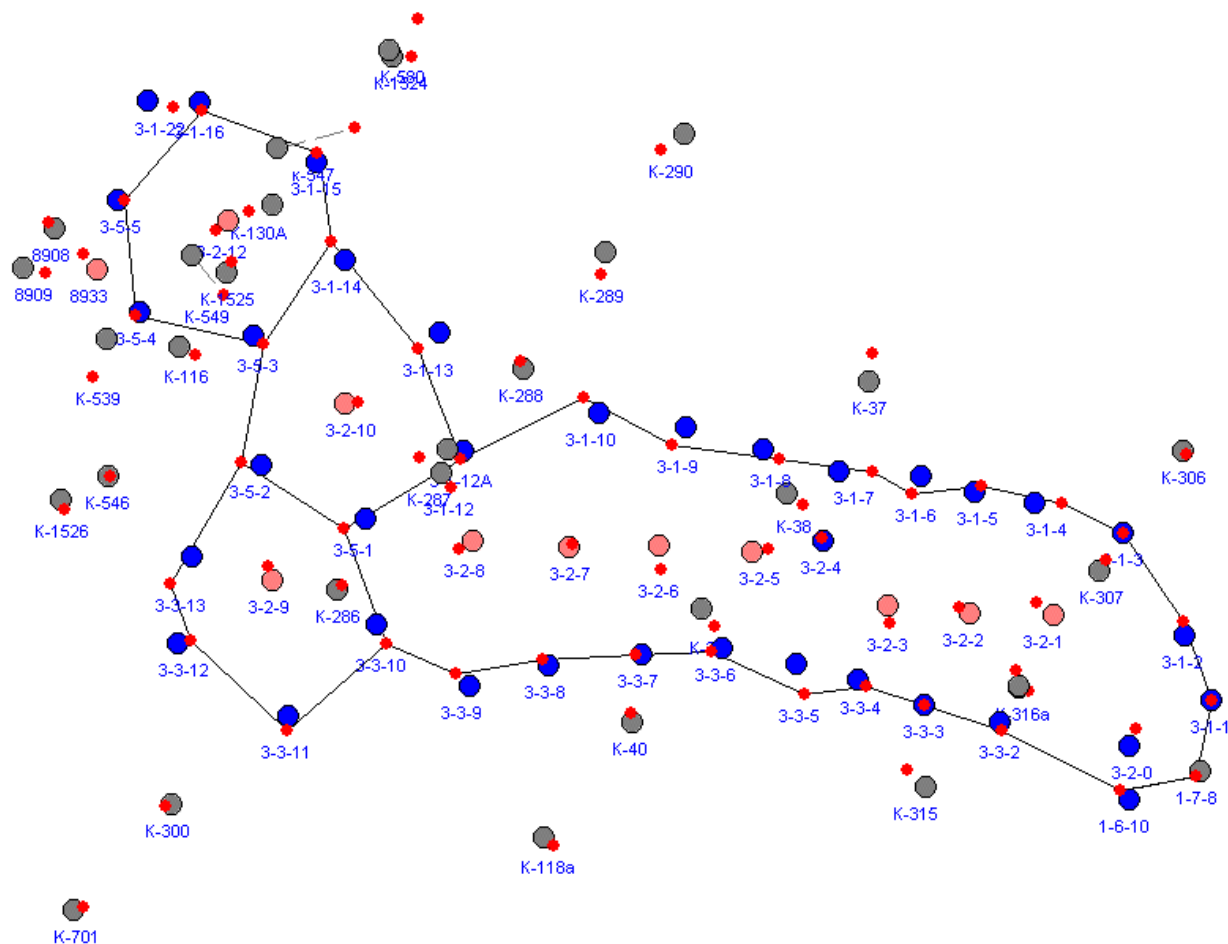
## Концентрация урана в растворе



## Продуктивность урана



## Концентрация сульфат иона в растворе

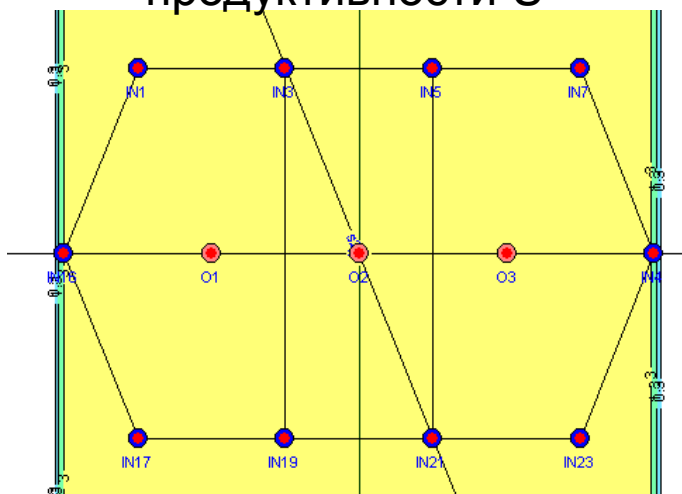


## Прогнозирование геотехнологических показателей

- определение типа технологической схемы и её параметры;
- определение оптимальных дебитов скважин;
- определение оптимальных концентрации реагентов в ВР;
- расчёт экономических параметров для оптимальной схемы;
- расчёт значений кондиционных лимитов.

### Определение оптимального расстояния рядной схемы

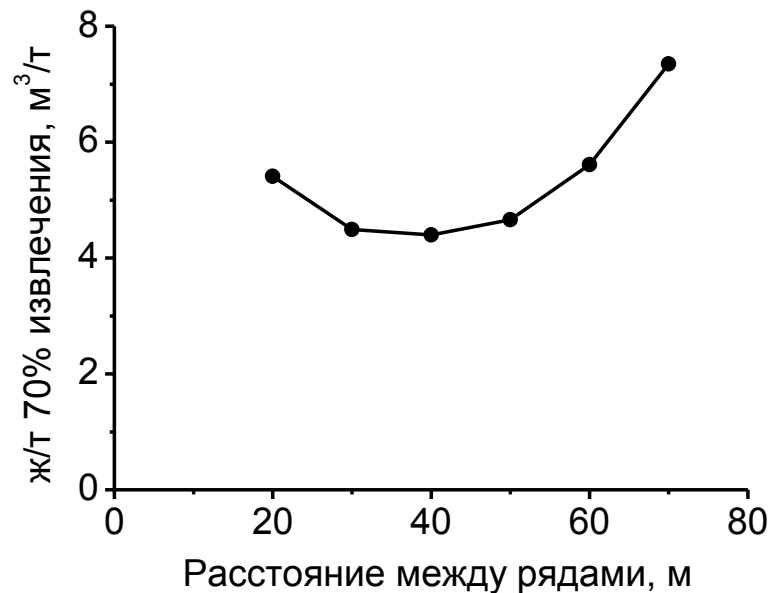
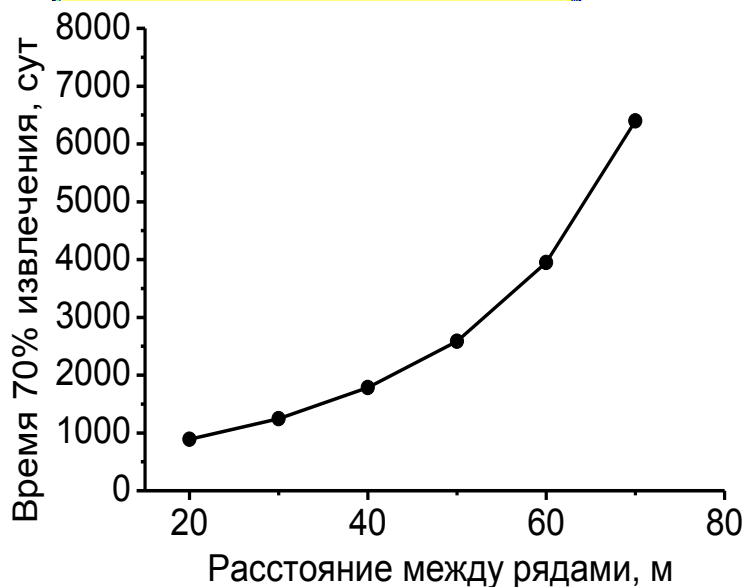
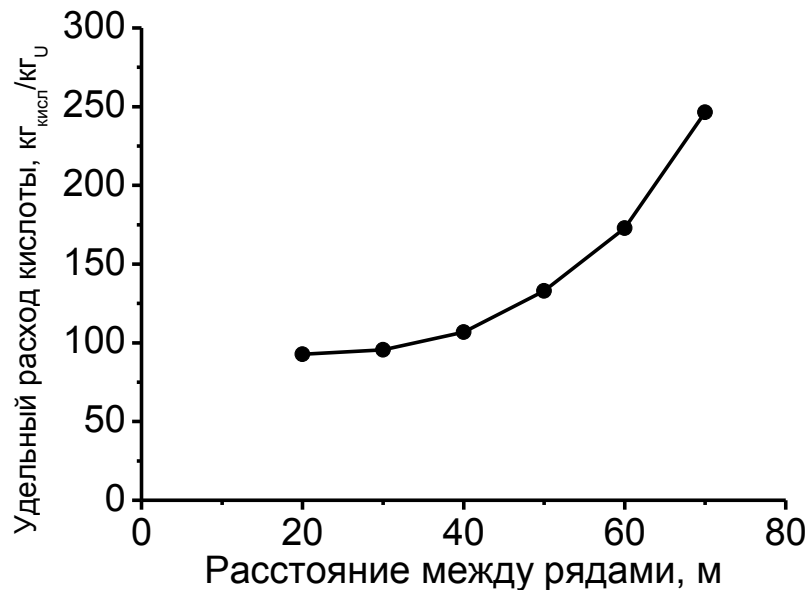
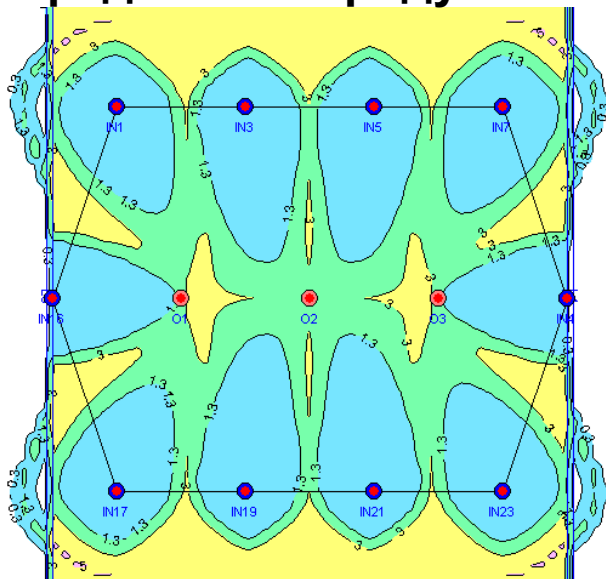
Исходное распределение  
продуктивности  $U$



- параметры моделирования определялись по опытному блоку;
- параметры геологической среды средние для месторождения по данным разведки.

# Определение оптимального расстояния рядной схемы

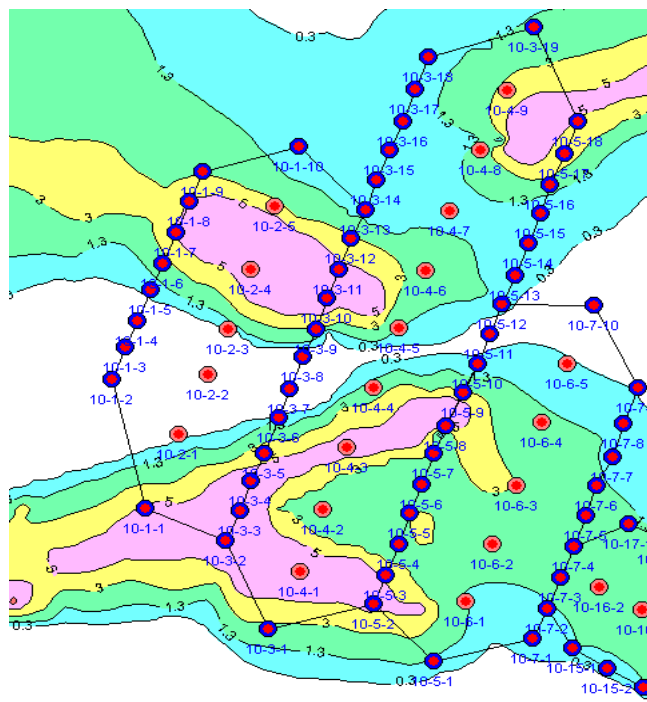
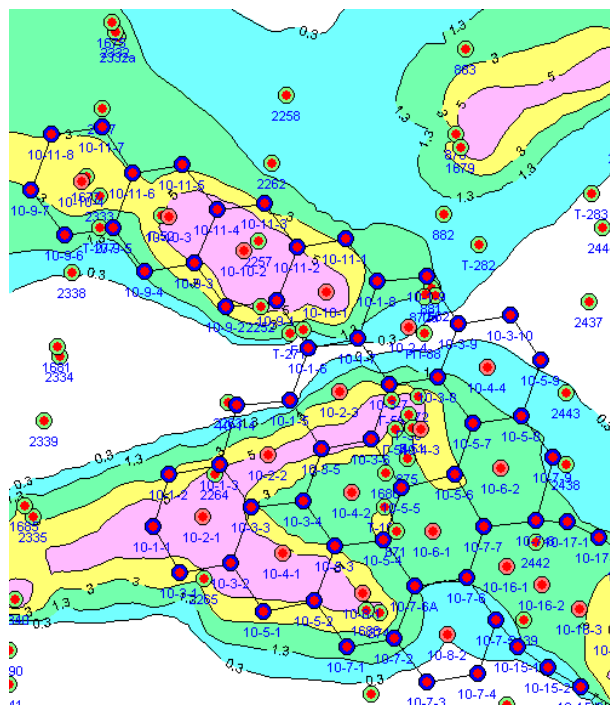
## Распределение продуктивности U



# Выбор схем вскрытия и режимов отработки

- определение оптимальной технологической схемы вскрытия конкретной залежи и её параметры;
- режимы отработки блоков с учетом особенностей строения рудовмещающего горизонта;
- расчёт плановых показателей отработки.

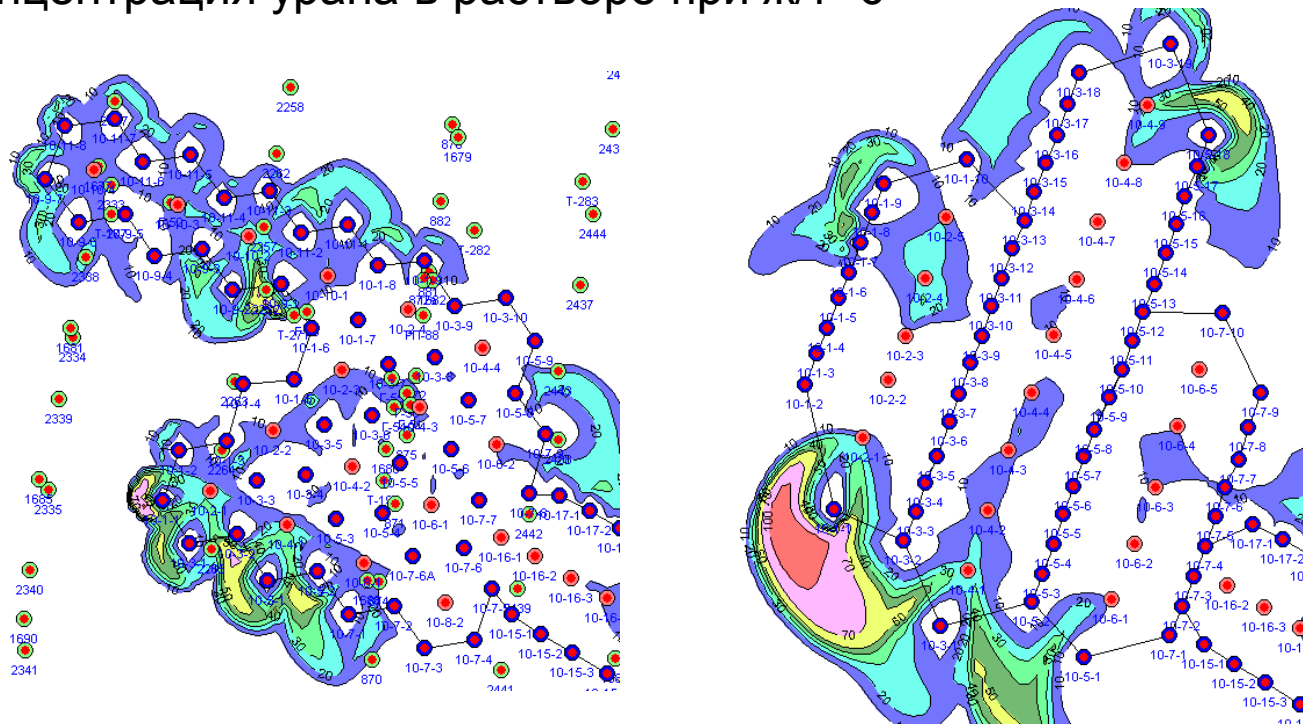
## Сравнение двух проектов блока 10-3



Исходное  
распределение  
продуктивности  
U и схема  
вскрытия

# Сравнение двух проектов блока 10-3

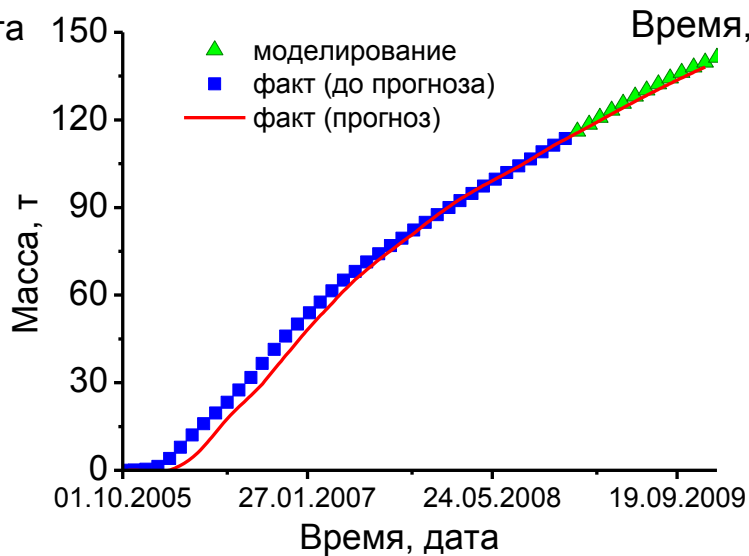
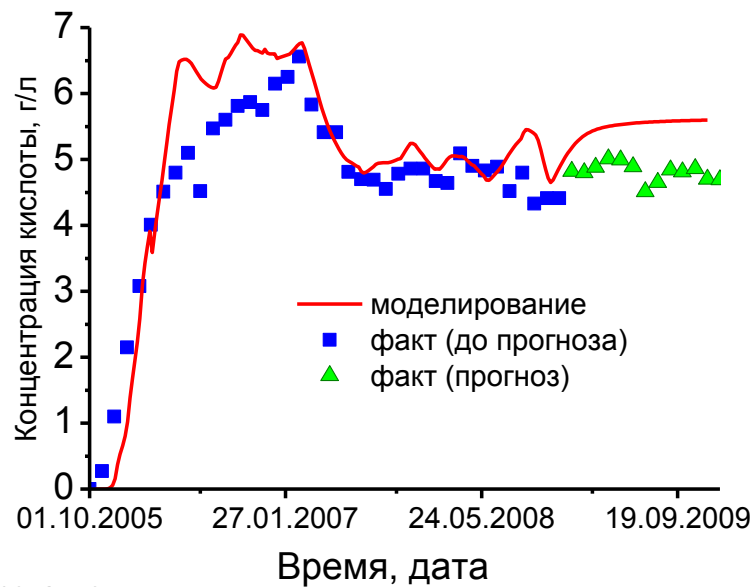
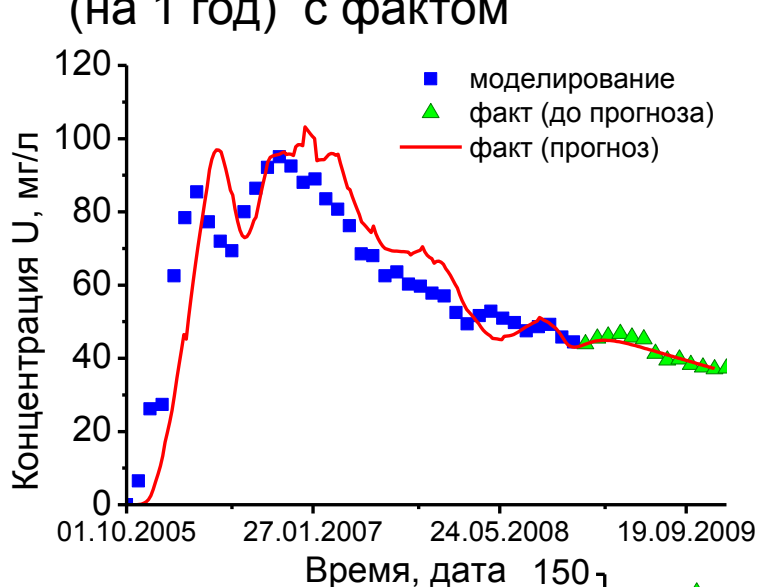
Концентрация урана в растворе при ж/т=6



Сравнение геотехнологических показателей

схема	запас U, т	C <sub>max</sub> мг/л	ж/т = 6	
			масса U, т	степень извлечения
рядная	81	56	52	64%
гексагональная	68	49	43	63%

## Сравнение результатов расчета плановых показателей блока 2-1 (на 1 год) с фактом





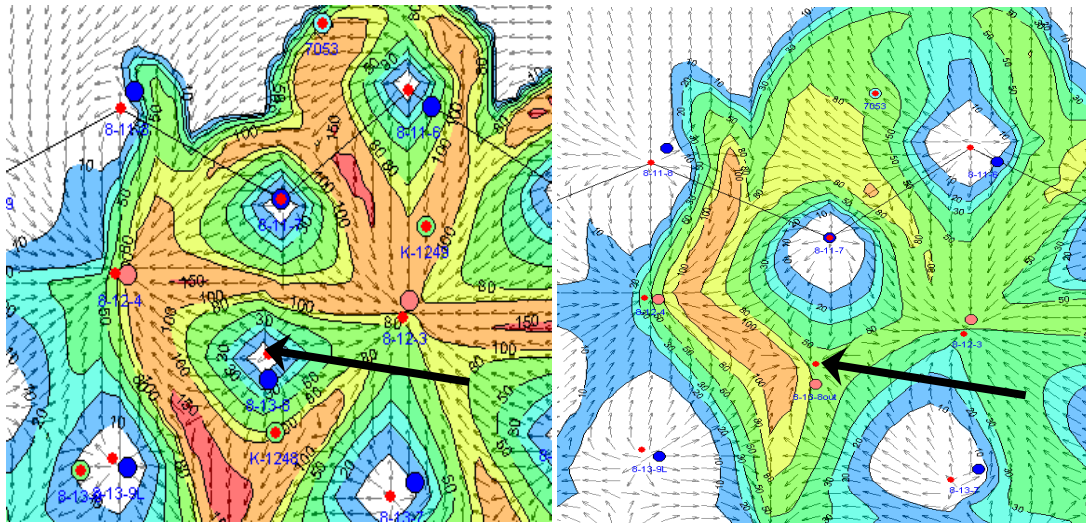
## Задачи оптимизации:

- снижение себестоимости урана;
- увеличение степени извлечения урана;
- уменьшение времени обработки блока;
- увеличение концентрации урана в продуктивном растворе;
- уменьшение расхода реагента на килограмм извлеченного урана;
- снижение загрязнения подземных вод.

## Методы оптимизации:

- изменение дебитов откачных и закачных скважин;
- реверс работы скважин;
- сооружение дополнительных скважин;
- вывод скважин из работы.

## Концентрация U в растворе



Средняя конц. U – 150 мг/л

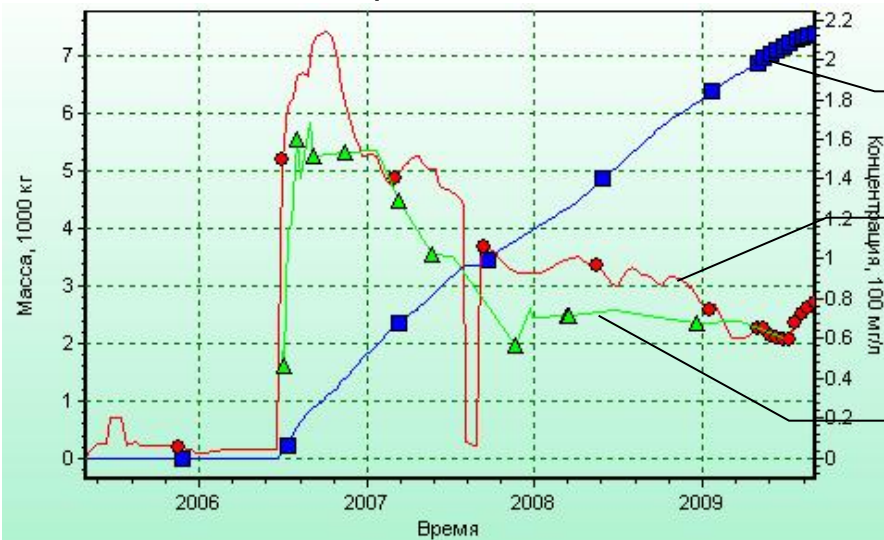
Средний дебит – 2 м<sup>3</sup>/ч

Извлечено U – 864 кг

Продолжительность – 4 мес.

### без оптимизации

### ОПТИМИЗАЦИЯ



масса U

Конц. U(модел.)

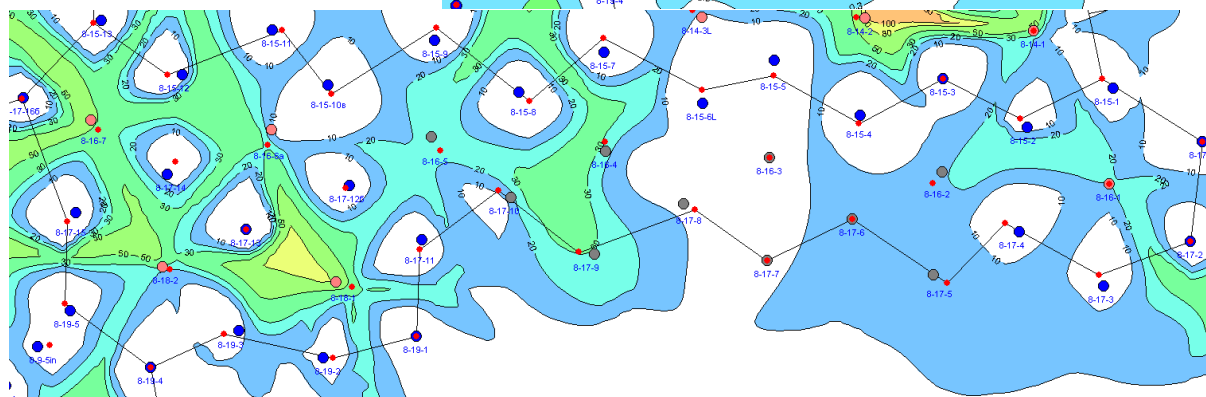
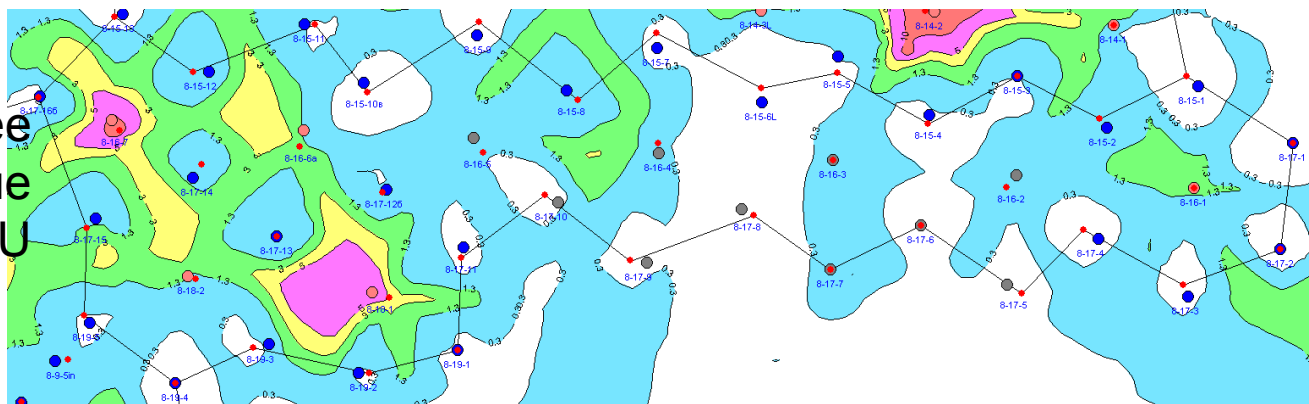
Конц. U(факт)

# Решение проблемы слабо проработанных участков блока

- определение слабо проработанных участков рудного тела;
- выработка порядка вывода ячеек из эксплуатации;
- разработка решений для доизвлечения целиков.

## Вывод из эксплуатации блока 8-4

Текущее  
распределение  
продуктивности  $U$



Концентрация  
 $U$  в растворе

## Проектирование:

- прогнозирование последствий работы для проведения экологической экспертизы;

## Отработка:

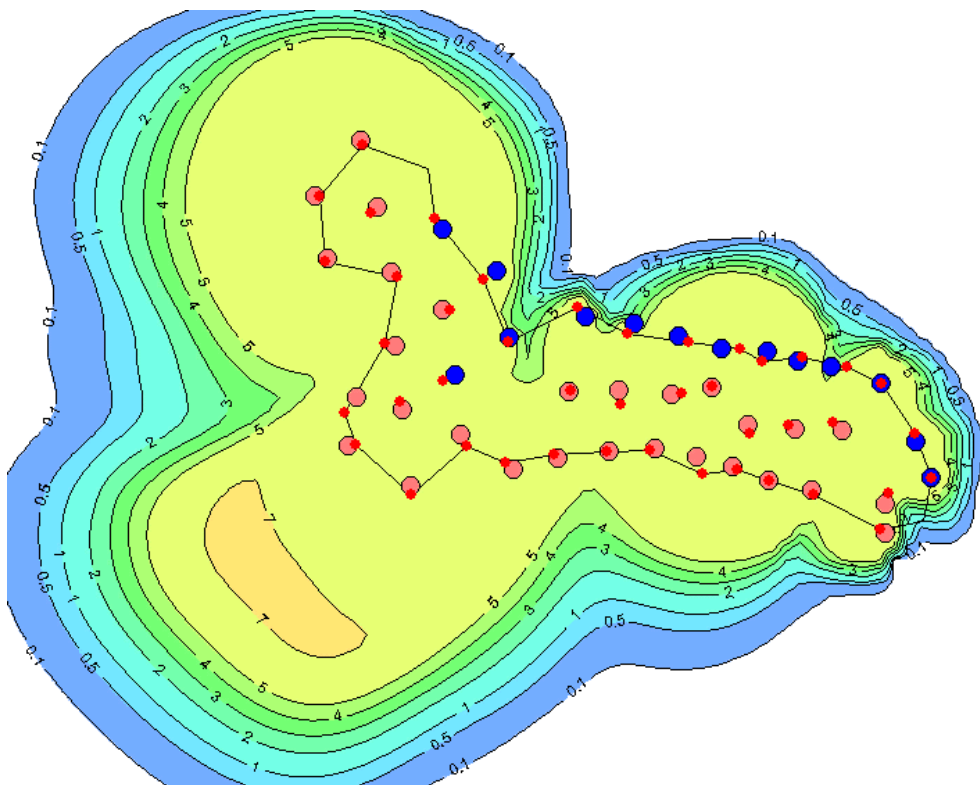
- контроль распространения технологических растворов;
- оценка загрязнения подземных вод;
- обоснование выбора и планирование природоохранных мероприятий;

## Ликвидация:

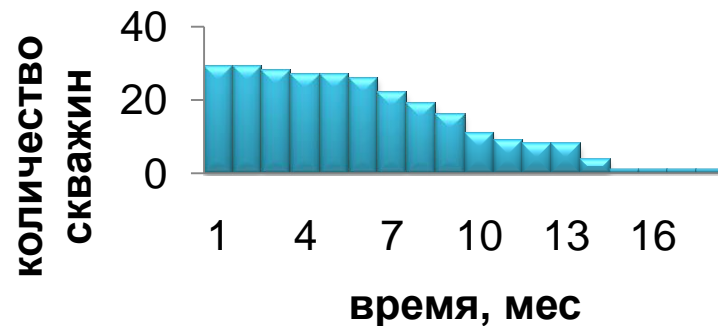
- оценка геоэкологических последствий;
- определение продолжительности и степени самоочистки загрязнённых вод;
- обоснования выбора и подготовки планов по рекультивации.

# Подготовки планов по рекультивации для блока 2-1

Концентрация сульфат иона на момент окончания отработки блока(г/л)



Количество работающих скважин



За время проведения рекультивации  
**извлечено:** 4,9т - урана,  
 320т - серной кислоты,  
**откачено:** 500 тыс.м<sup>3</sup>  
**продолжительность :** 18 мес.

## Заключение

- Разработанная геотехнологическая моделирующая система является эффективным инструментом для решения широкого спектра геотехнологических и геоэкологических задач на всех стадиях отработки месторождения урана методом сернокислотного СПВ.
- Программа может эффективно использоваться для подготовки и повышения квалификации геотехнологов предприятий по добыче урана методом ПВ.
- Целесообразно создать на геотехнологических предприятиях по добыче урана методом ПВ постоянно-действующих геолого-технологических моделей месторождений.