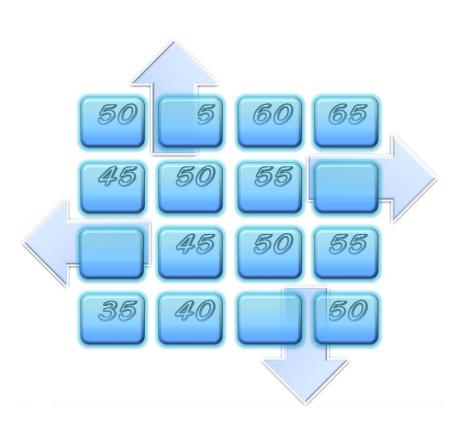
Гидродинамика флюидных систем и моделирование гидродинамических процессов



Лекция № 16

Разработка численных гидродинамических моделей в среде программного комплекса Groundwater Modeling System

Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ИПР ТПУ доцент Кузеванов К.И.

Особенности программного комплекса *Processing Modflow*:

В состав программного комплекса входит только самый необходимый набор вспомогательных инструментальных средств, все параметры численной модели задаются непосредственно на пространство конечно-разностной сетки;

Структура главного меню отражает основной порядок создания численной модели области фильтрации

Программный комплекс использует для решения балансовых конечноразностных уравнений модуль MODFLOW 96, который является признанным мировым стандартом в решении прогнозных гидродинамических задач;

Младшие версии программного комплекса безусловно открыты для использования в учебных целях

Порядок разработки численной модели

Схематизация гидрогеологических условий, завершающаяся разработкой геологической модели, включающей формализацию и количественную оценку основных факторов формирования фильтрационных потоков

Создание геологической модели-на этапе формирования очертаний конечно-разностной сетки области фильтрации

Создание гидродинамической модели, связанное с наполнением ячеек сетки значениями фильтрационных параметров и заданием внешних (реки, ручьи) и внутренних (скважины) граничных условий

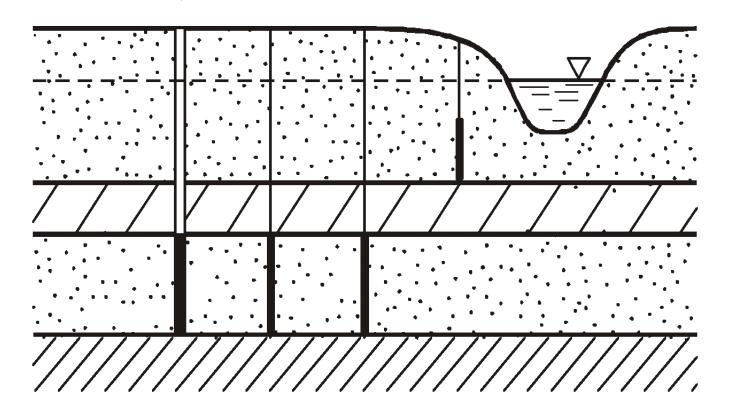
Управление параметрами решения прогнозной геофильтрационной задачи (продолжительность прогнозного периода, число шагов по времени)

Вывод результатов моделирования

Интерпретация результатов моделирования

Уточнение модели и уточняющие прогнозные расчёты

Схематический гидрогеологический разрез опытного участка



Работа в среде программного комплекса GMS

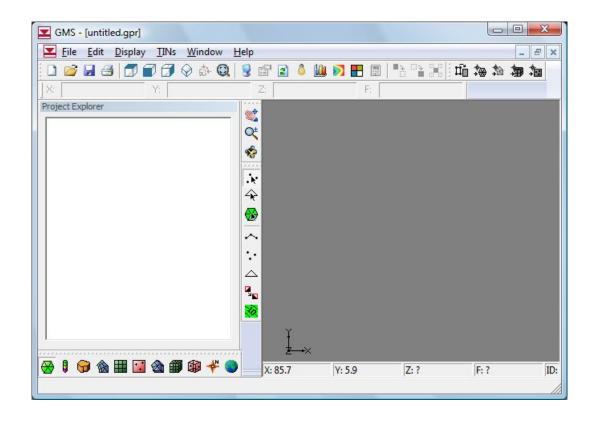
Программный комплекс

Groundwater Modeling System



Создание численной гидродинамической модели путем задания параметров непосредственно в расчётные ячейки конечно-разностной сетки

Окно программного комплекса GMS

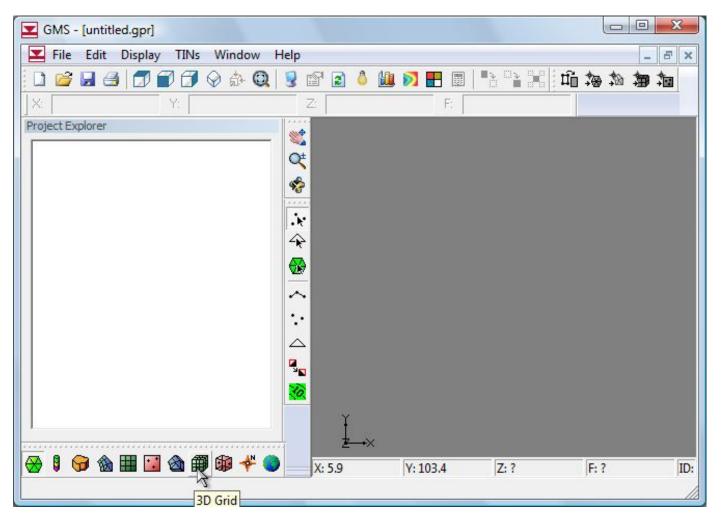


Строка заголовка модели Главное меню Панели стандартных инструментов

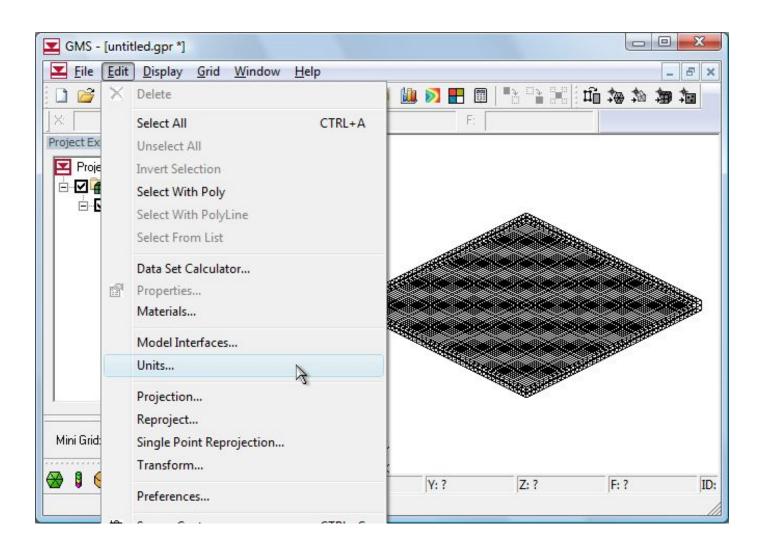
Контекстные инструменты

Модули

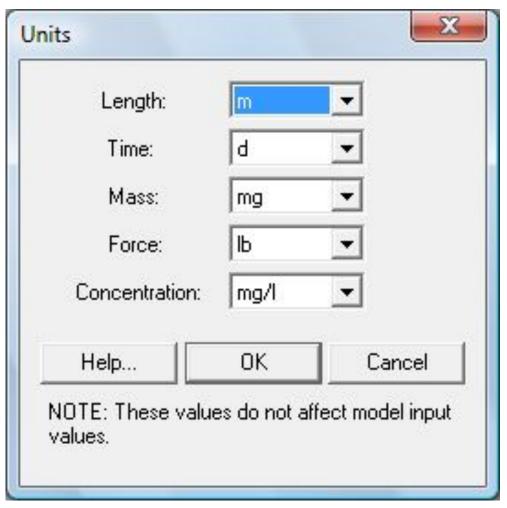
Выбор модуля «3D Grid»



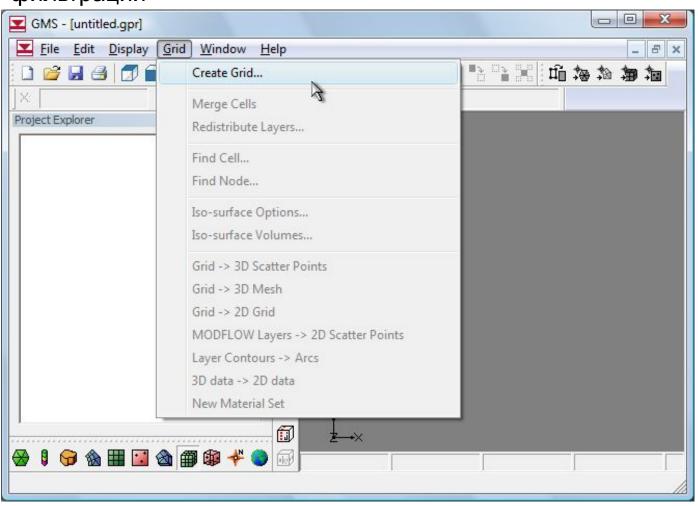
Меню выбора единиц измерения параметров модели



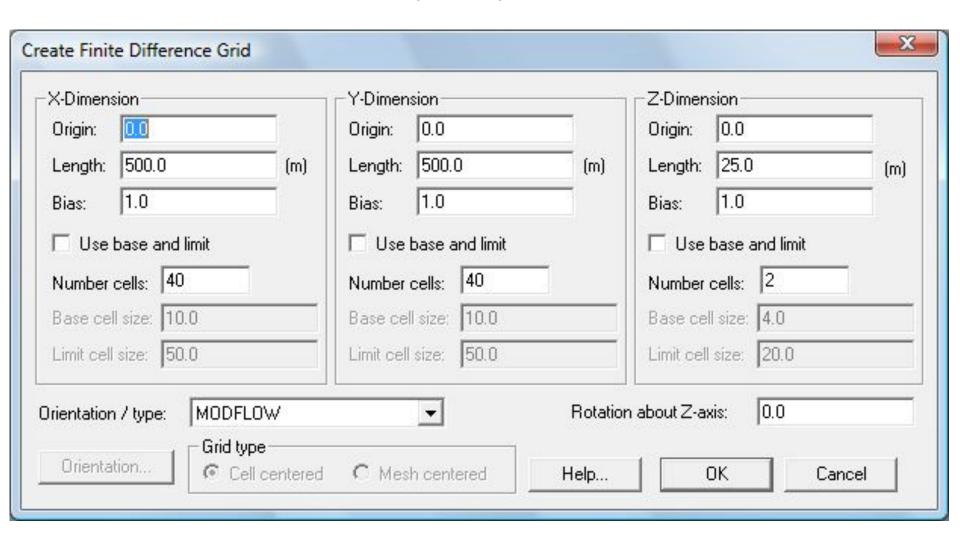
Настройка интерфейса на измерение линейных размеров в метрах



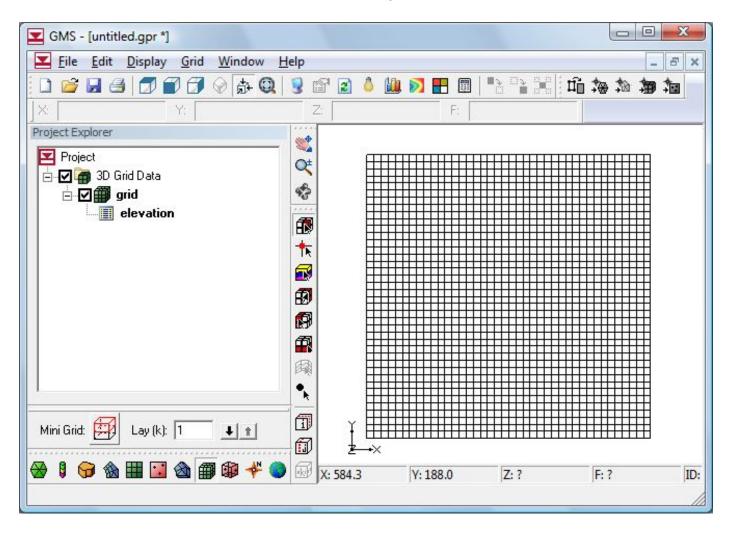
Начальный диалог создания новой КР-сетки области фильтрации



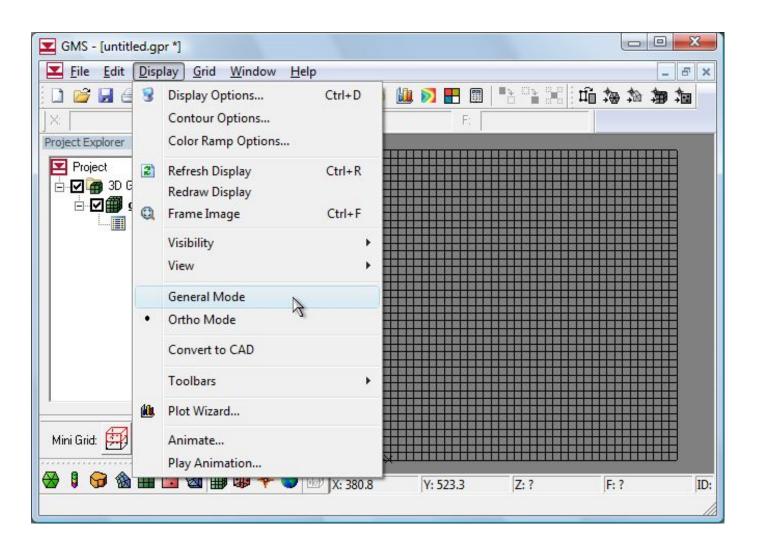
Диалоговое окно создания новой КР-сетки области фильтрации, с размерностью, соответствующей условиям тестовой задачи



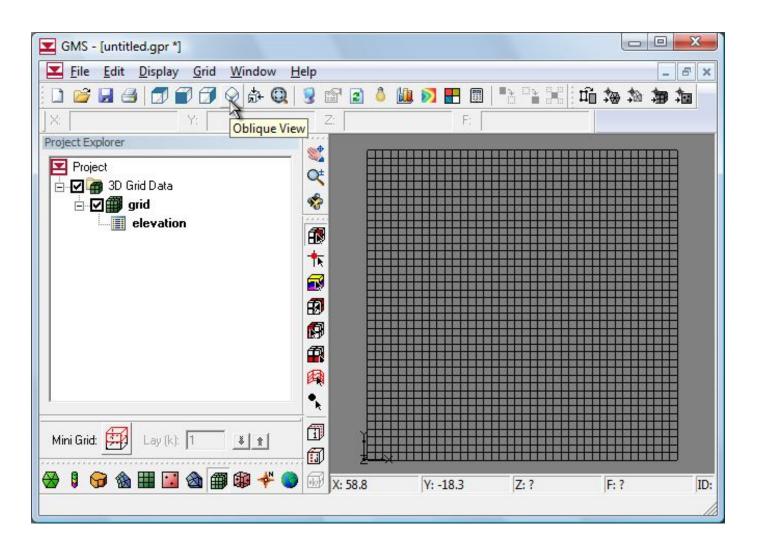
Результат создания новой КР-сетки области фильтрации (ортогональный вид сверху)



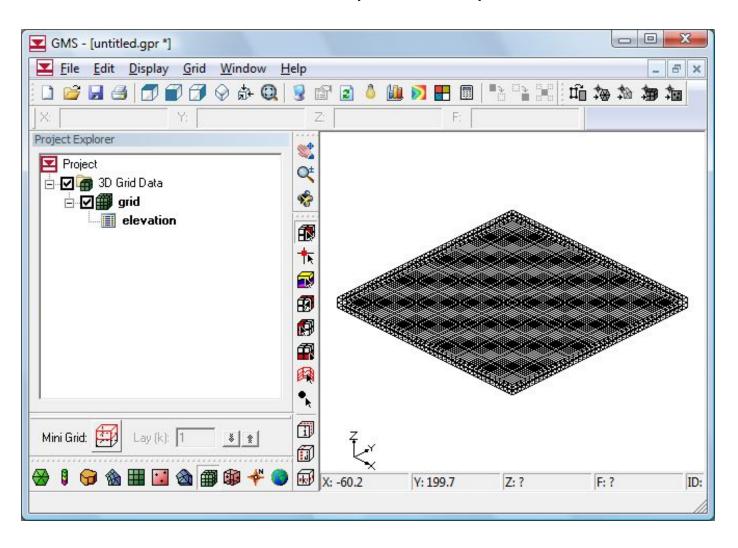
Переключение режима просмотра КР-сетки

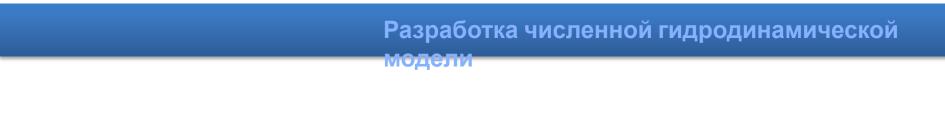


Выбор объемного представления КР-сетки



Вид КР-сетки в изометрической проекции





Создание гидродинамической модели области фильтрации

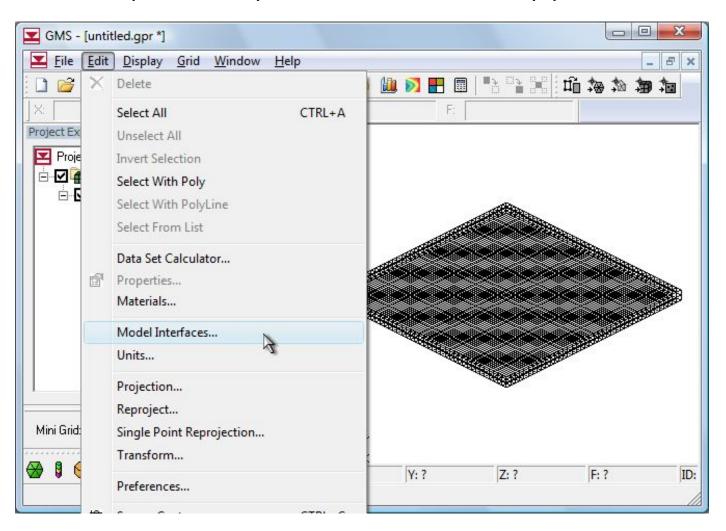
Завершение геометрической разбивки области фильтрации на расчетные блоки соответствует этапу создания геологической модели

Формируется пространство, которое может быть наполнено свойствами водовмещающих пород и граничных условий.

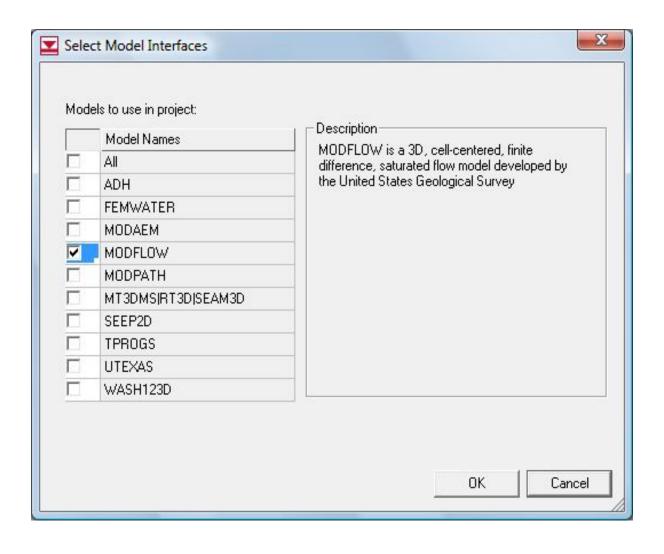
Эта часть работы выполняется в модуле MODFLOW

После этого можно начать новый сеанс моделирования и продолжить создание гидродинамической модели области фильтрации

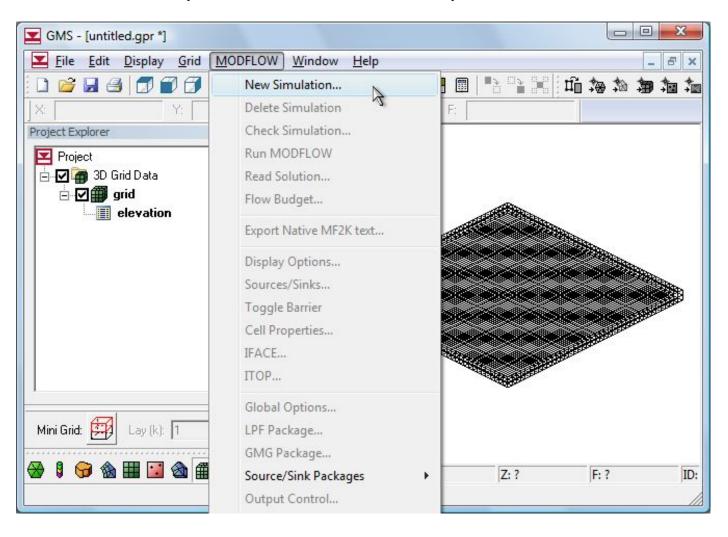
Подключение временно скрытых компонентов интерфейса модели



Подключение интерфейса модуля MODFLOW



Выбор нового сеанса моделирования



Новый сеанс моделирования предполагает выполнение ряда основных настроек гидродинамической модели (следующий слайд).

На панели инструментов *MODFLOW Global/Basic Package* каждой настройке соответствует отдельный переключатель или кнопка:

Steady state/Transient выбор стационарного или нестационарного режима решения прогнозной задачи;

Stress Periods... управление количеством временных шагов;

Packages... выбор типов внутренних граничных условий;

Units... выбор единиц измерения линейных размеров модели;

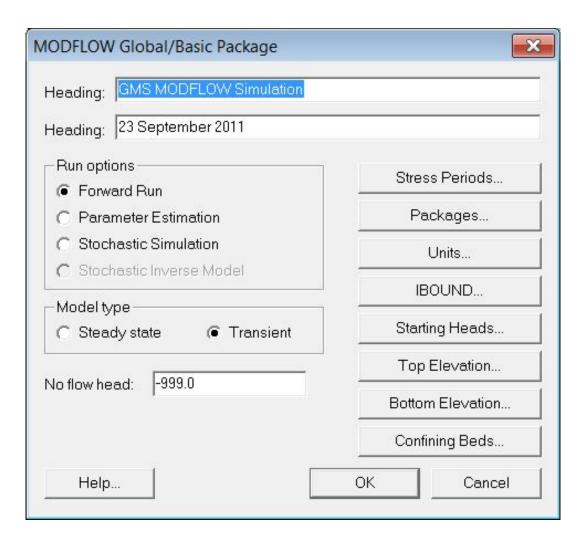
IBOUND – управление активностью расчётных ячеек модели;

Starting Heads... задание начальных напоров в области фильтрации;

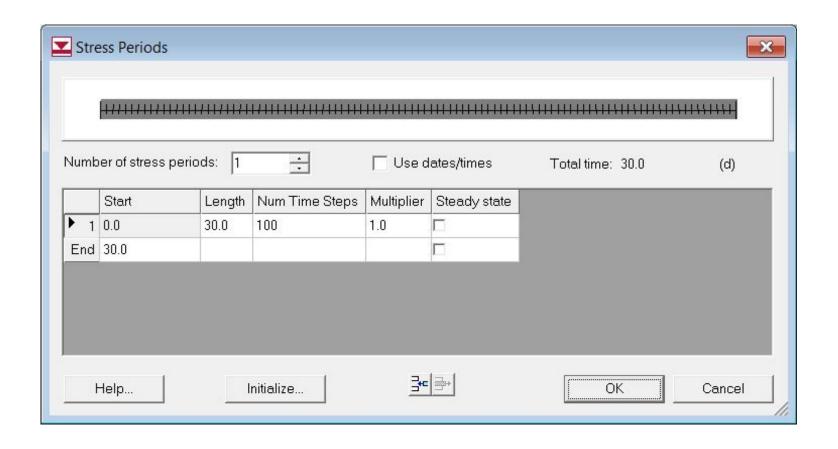
Top Elevation... – задание отметок кровли слоёв модели;

Bottom Elevation... задание отметок подошвы слоёв модели.

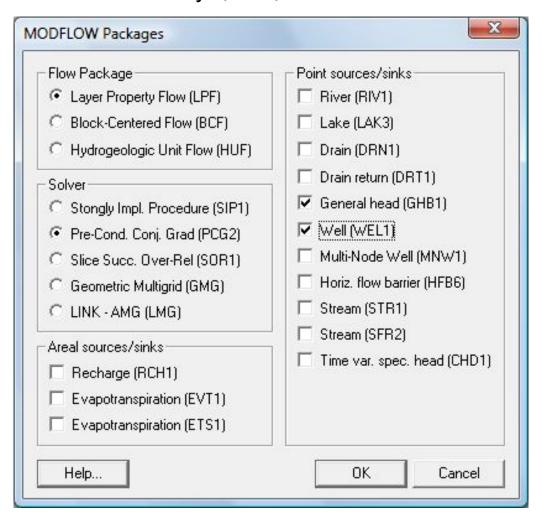
Основные настройки модели



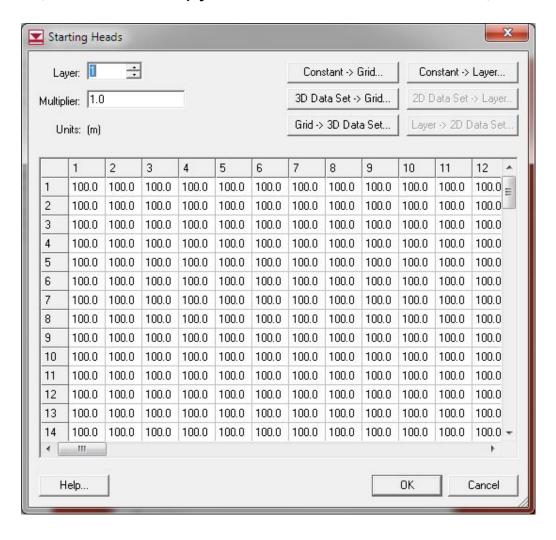
Управление временными шагами расчетного периода



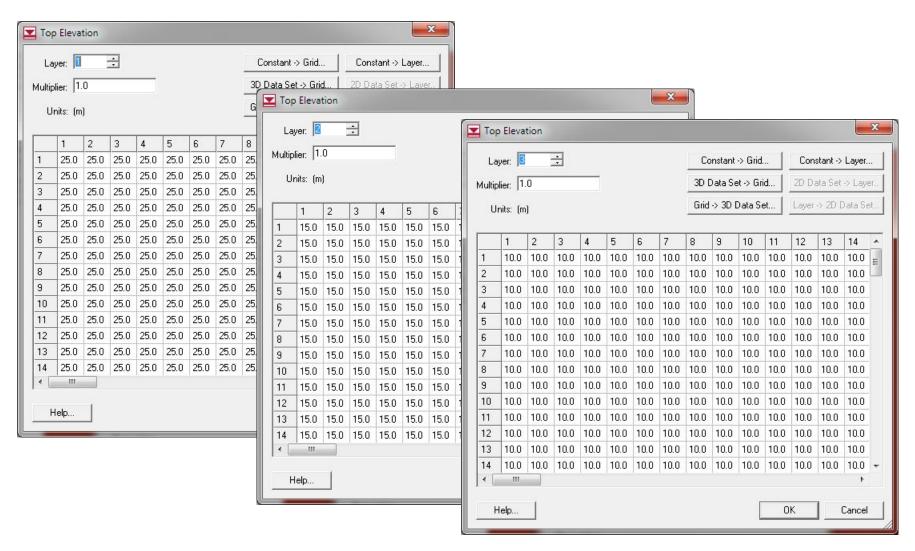
Выбор двух пакетов решения, для моделирования заданных напоров и возмущающих скважин



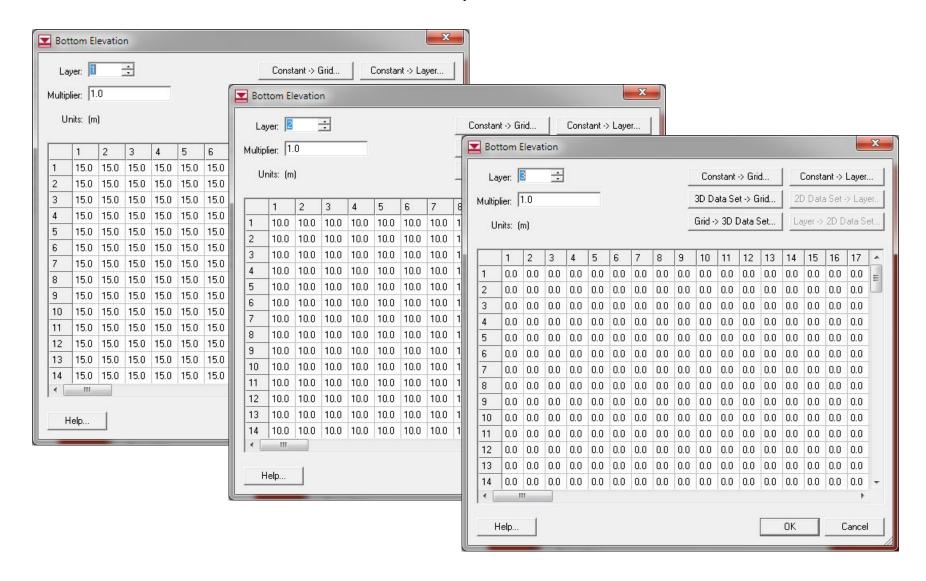
Начальные напоры в первом слое модели (значения в других слоях не изменяются)



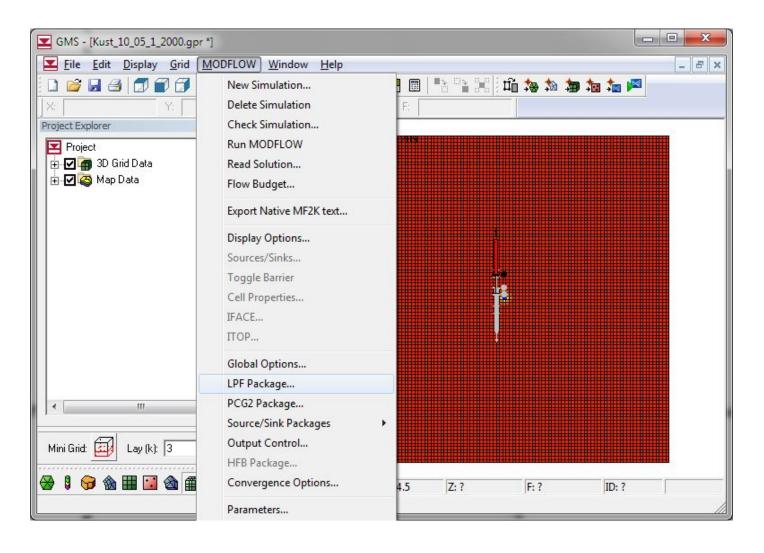
Отметки кровли трехслойной модели



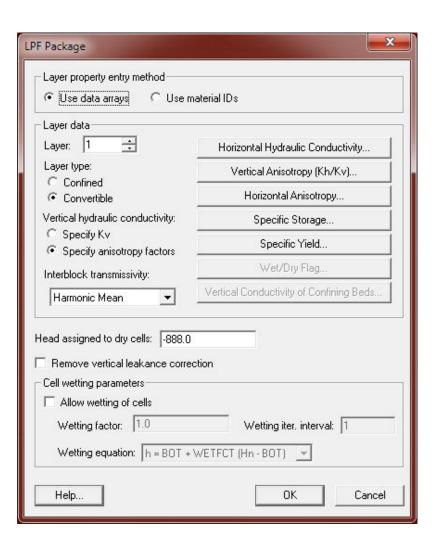
Отметки подошвы трехслойной модели



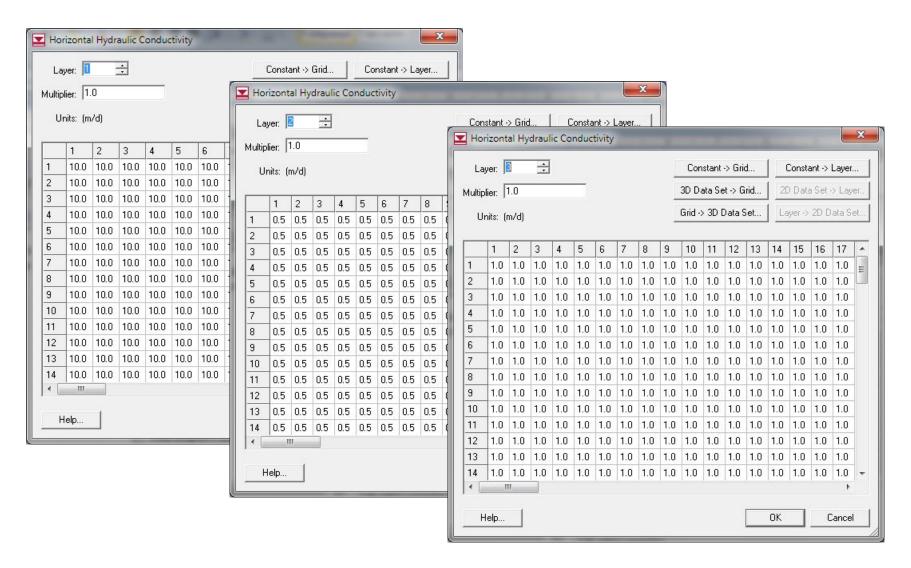
Подключение пакета прикладных программ LPF, управляющего вводом значений фильтрационных параметров



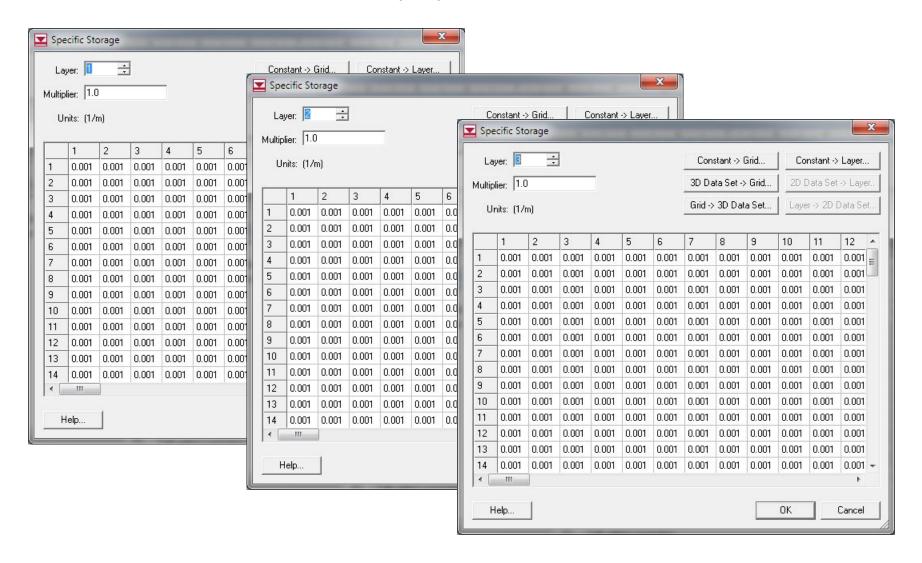
Окно пакета прикладных программ LPF



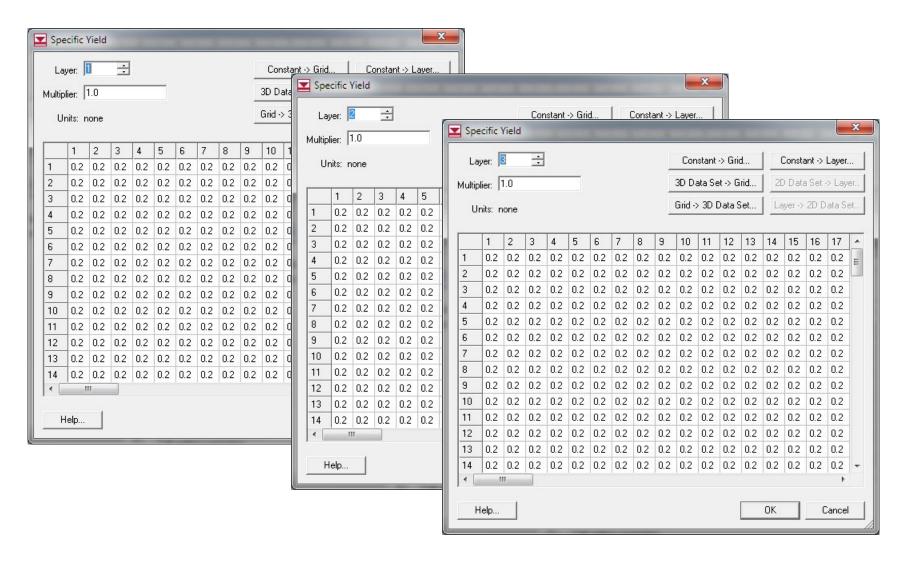
Значения коэффициента фильтрации

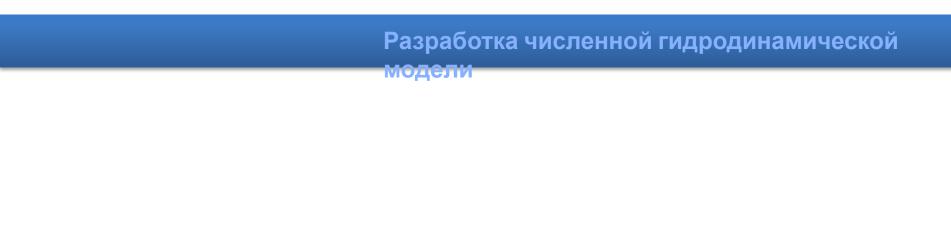


Значения коэффициентов упругоёмкости водовмещающих пород



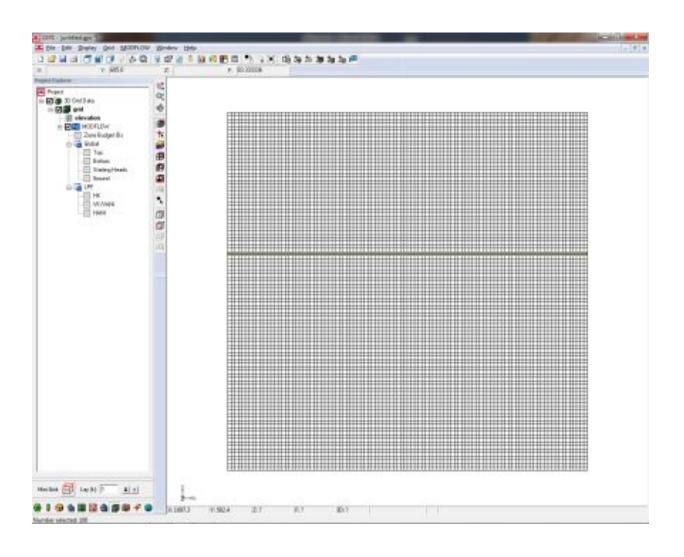
Значения коэффициента гравитационной водоотдачи



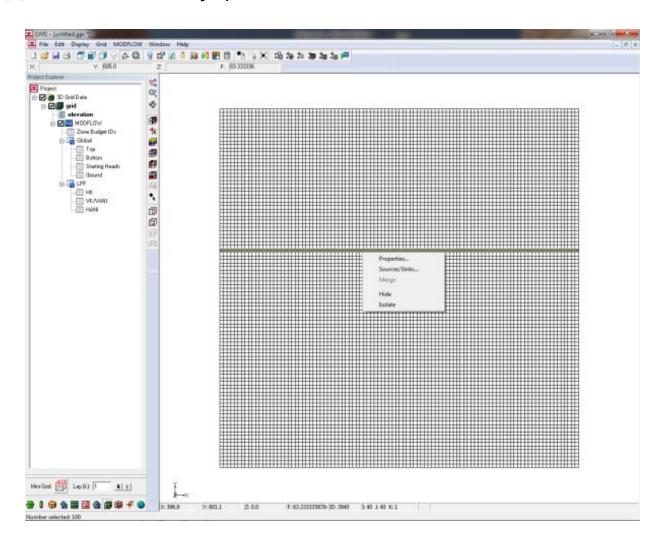


Создание внутренних граничных условий области фильтрации

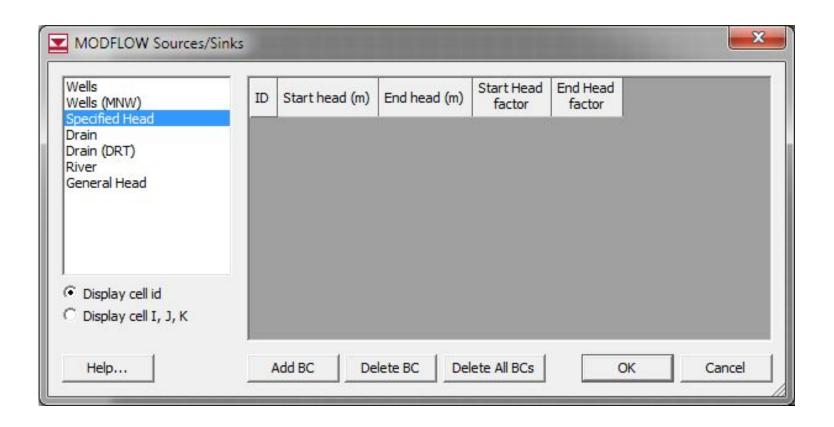
Выделены ячейки, подготовленные для ввода границы первого рода



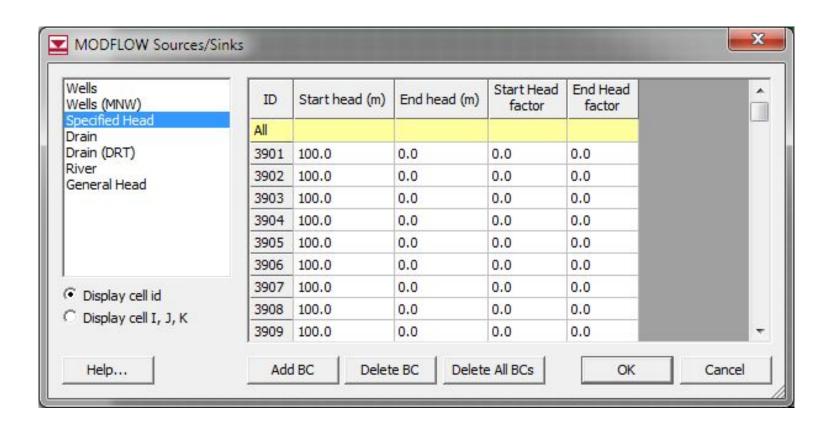
Диалоговое окно управления свойствами выделенных ячеек



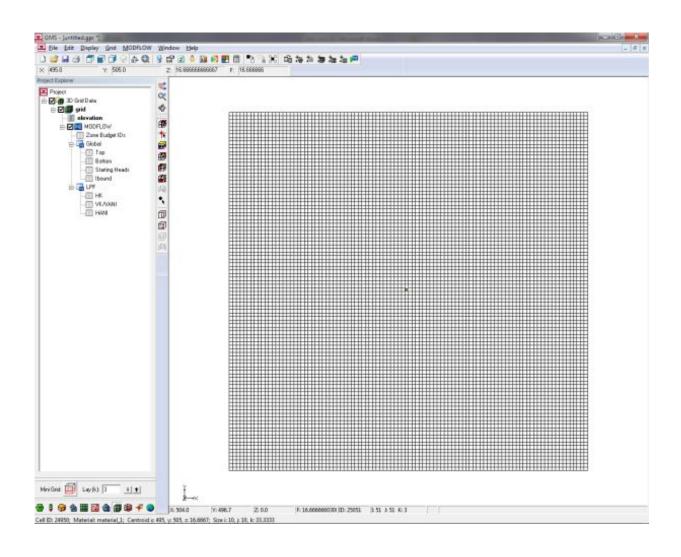
Диалоговое окно выбора типа источников-стоков



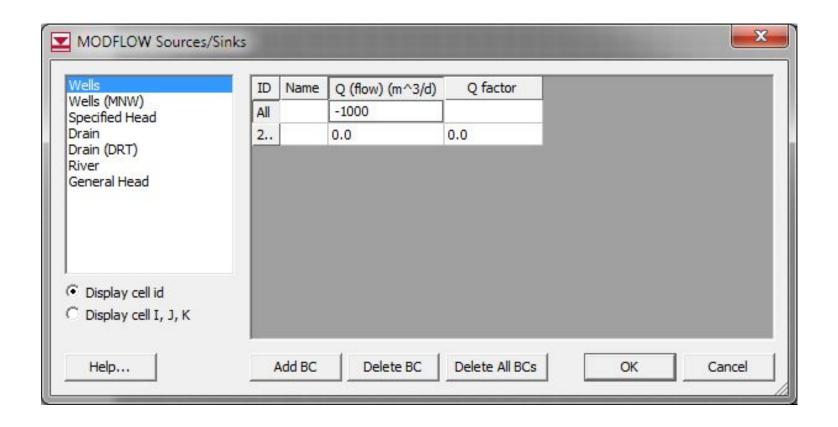
Диалоговое окно управления величинами постоянных напоров)



Выделена ячейка, подготовленная для ввода центральной скважины



Диалоговое окно управления величиной расхода центральной скважины



Создание наблюдательных скважин

Нами рассмотрен порядок создания численной модели области фильтрации по одному из двух возможных способов, а именно путем непосредственного здания параметров в ячейки конечно-разностной сетки

Этот способ является наиболее простым, но, в то же время, несколько ограничен в своих возможностях. Более универсальным методом организации данных подход, связанный с использованием инструментарием концептуальной модели

Согласно основной идее этого метода модель разрабатывается в два этапа

На первом этапе все элементы будущей модели компонуются в модуле «Мар» на отдельных покрытиях, которые условно можно считать аналогами слоев электронной карты

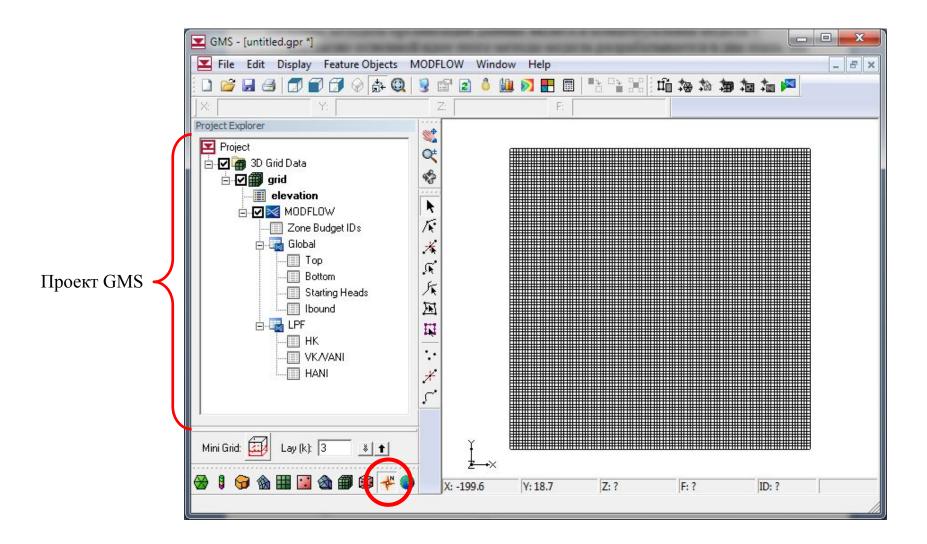
На завершающем этапе создания модели все свойства покрытий передаются в узлы КР сетки области фильтрации. Технология использования покрытий и их свойств для разработки моделей может помочь существенно сократить объемы ввода первичной информации, поскольку не требует работы с отдельными ячейками КР сетки

Некоторые разновидности исходных данных невозможно передать на численную модель непосредственным заданием на сетку без использования покрытий

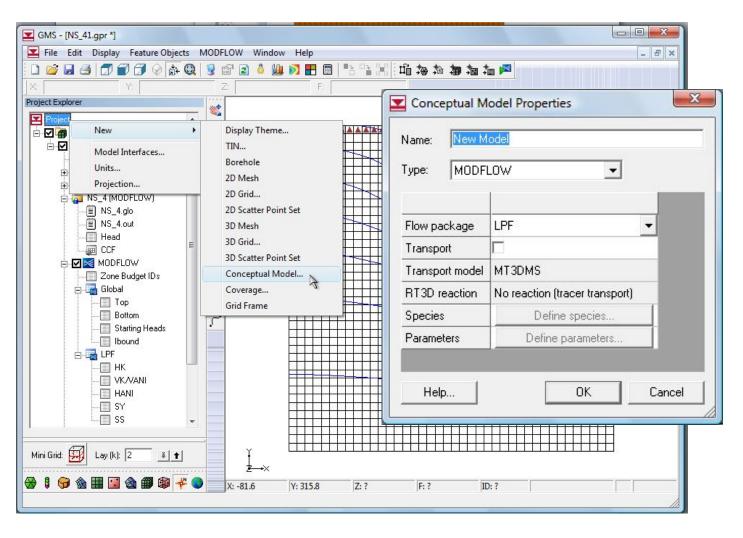
К такого вида информации относятся сведения о расположении наблюдательных скважин

Для организации их работы в структуре численной модели необходимо создать специальное покрытие в разделе концептуальной модели проекта GMS с использование возможностей модуля «Мар»

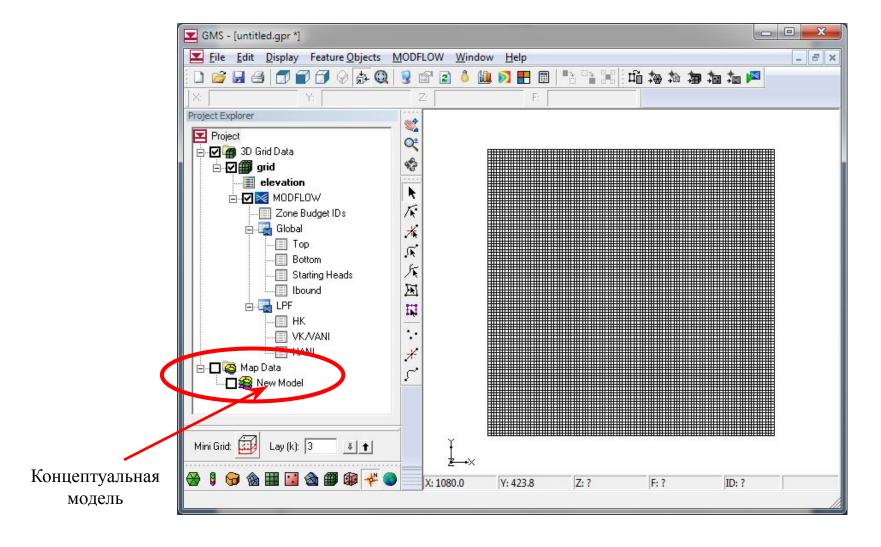
Кнопка подключения модуля «Мар»



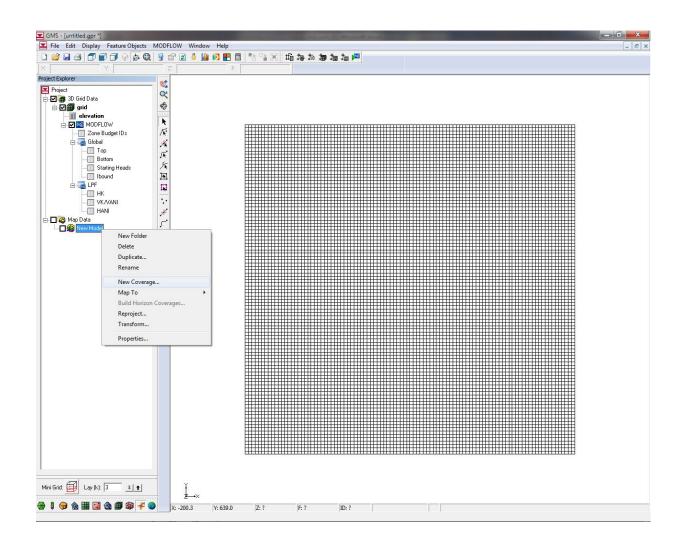
Диалоговое окно создания новой концептуальной модели (открывается правым щелчком в окне проекта)



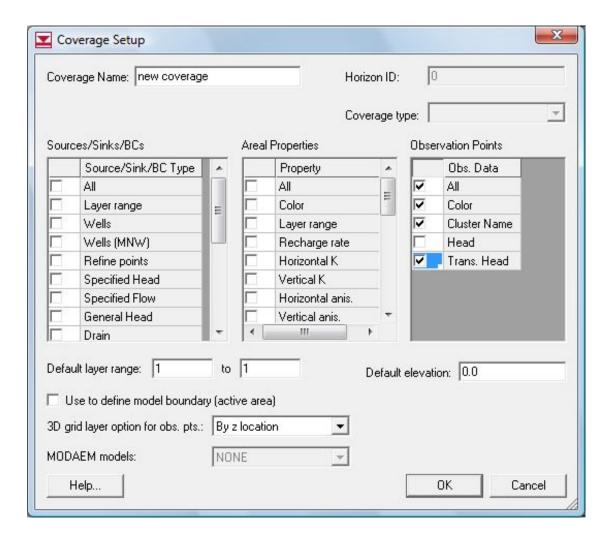
Информационный блок концептуальной модели в окне проекта



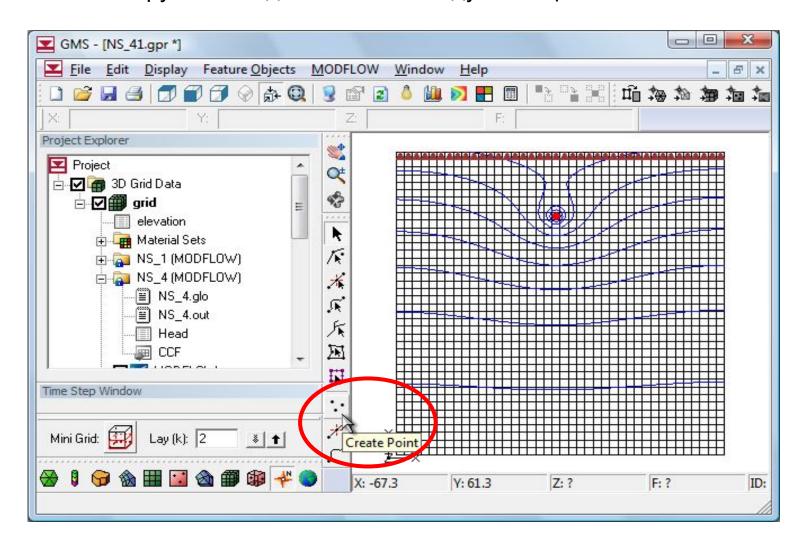
Диалоговое окно создания нового покрытия концептуальной модели



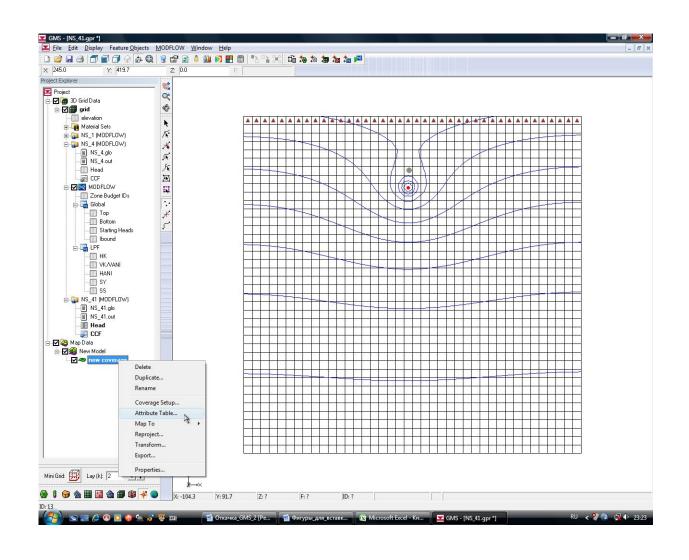
Настройка свойств нового покрытия. Для точек наблюдения установлено свойство, позволяющее фиксировать изменяющийся напор



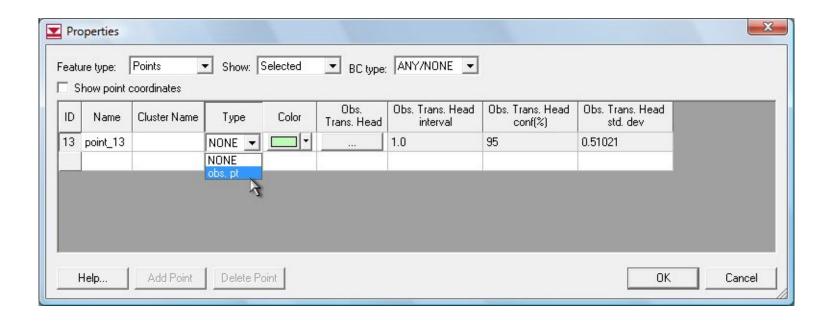
Инструмент создания точки в модуле «Мар»



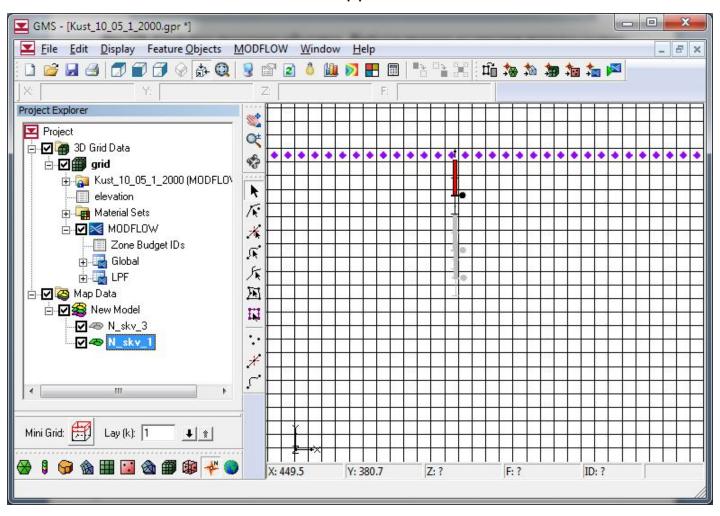
Диалоговое окно доступа к свойствам точечного объекта



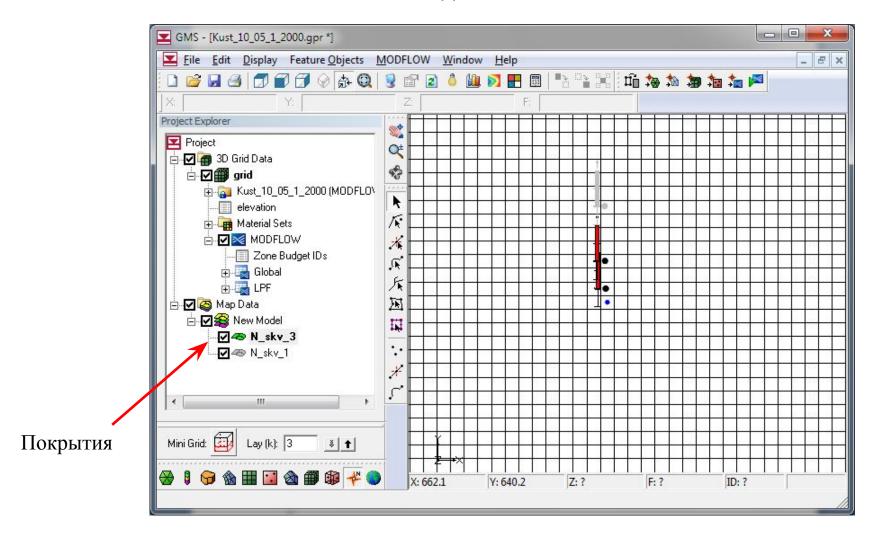
Свойства точечных объектов. Выделен признак включения точки в состав наблюдательной сети



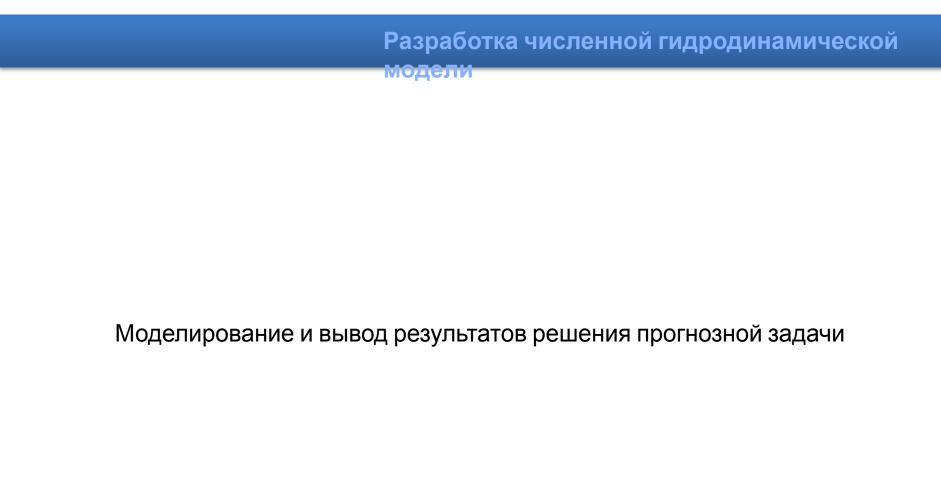
Вид наблюдательной скважины в первом (верхнем) слое КР сетки численной модели



Вид наблюдательной скважины в третьем (нижнем) слое КР сетки численной модели

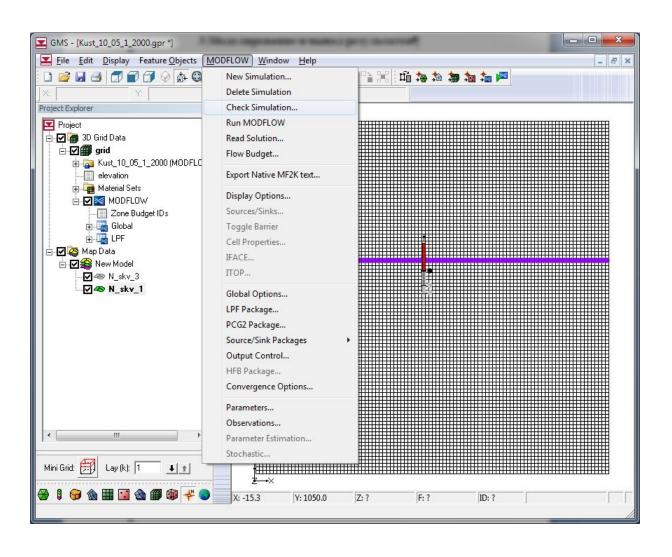


Наблюдательные скважины в процессе моделирования используются для получения данных о снижении уровней при откачке. За один сеанс моделирования можно получить несколько (два - три) набора исходных данных к журналам откачки, если использовать несколько (две – три) систем наблюдательных скважин, раз-личным образом ориентированных по отношению к центральной скважине куста и внутренней границе (реке) области фильтрации.

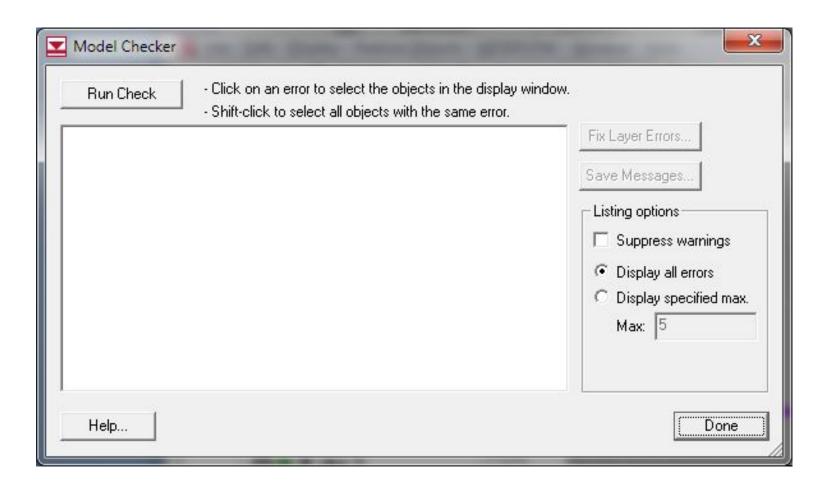


Процесс моделирования полностью автоматизирован и не требует участия пользователя. Все необходимые расчёты выполняются в модуле MODFLOW 2000, который использует для своей работы данные, подготовленные на этапе разработки гидродинамической модели

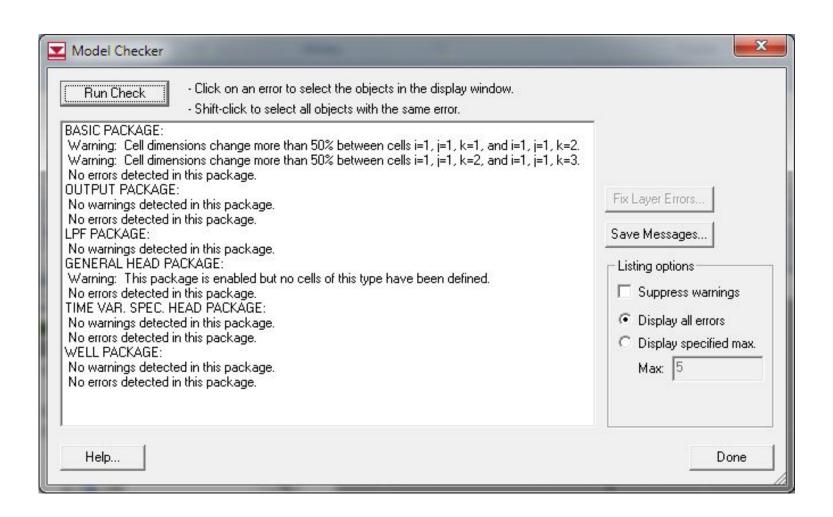
Меню выбора процедуры проверки корректности численной модели



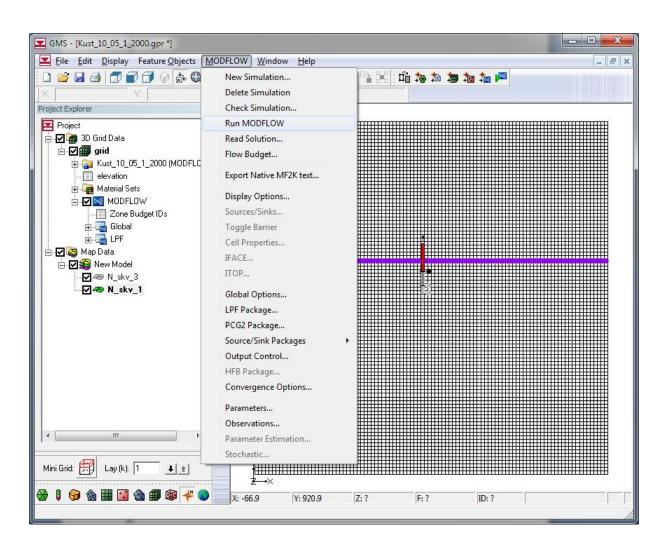
Окно настроечных параметров процедуры проверки численной модели



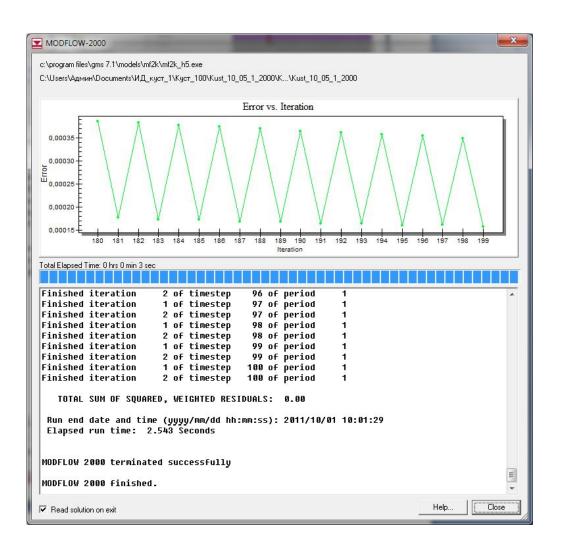
Протокол проверки исходных данных численной модели



Меню запуска процесса моделирования



Сообщение об успешном завершении процесса моделирования

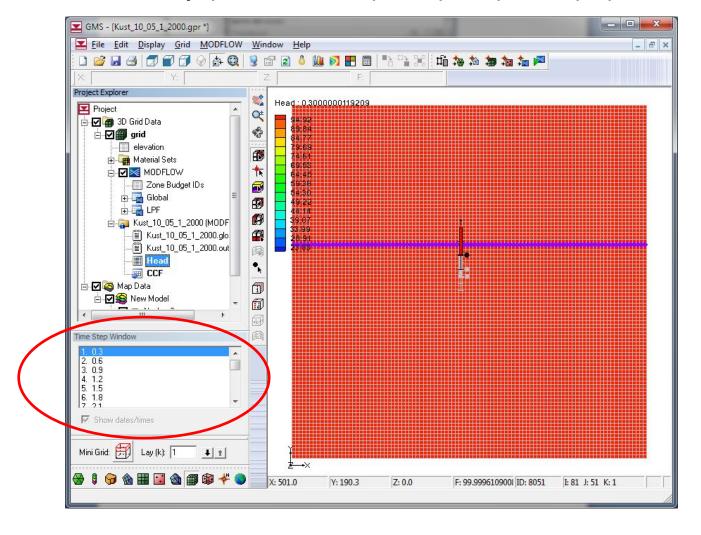




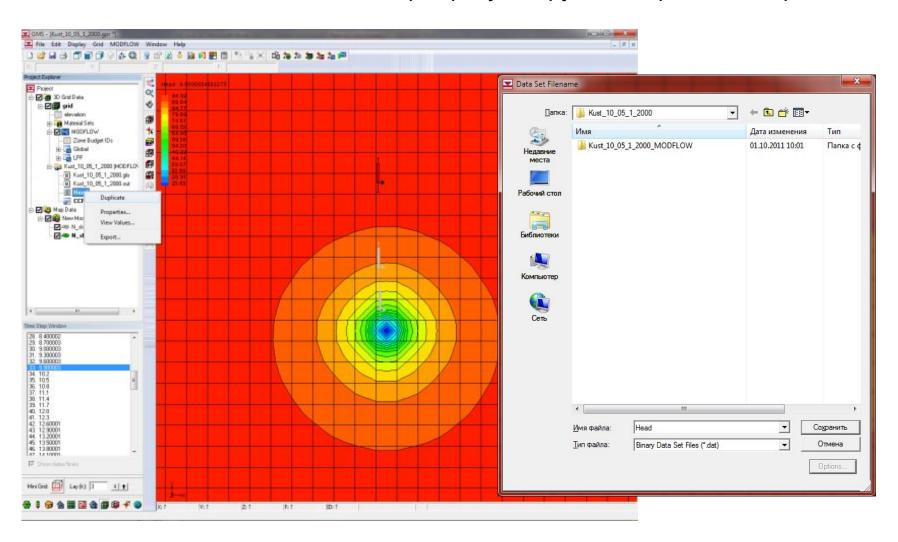
Организация вывода результатов моделирования

Управление номером модельного слоя и прогнозным моментом времени для анализа поля напоров

(выделены окна управляющих параметров просмотра решения)

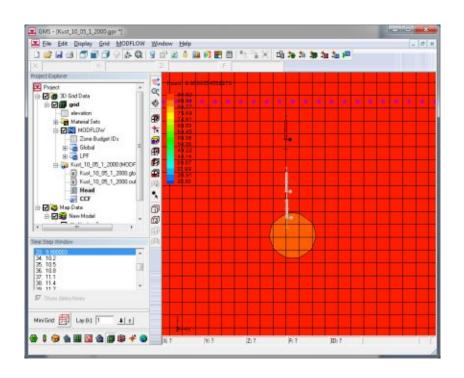


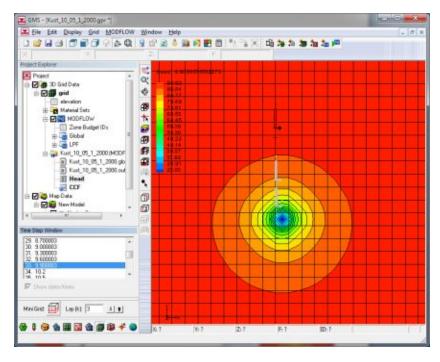
Меню и диалоговое окно экспорта результирующего файла напоров



Изменение напоров при откачке в верхнем (слева) и нижнем слое модели через

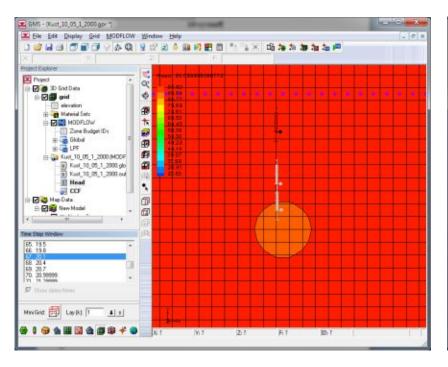
10 сут после начала откачки

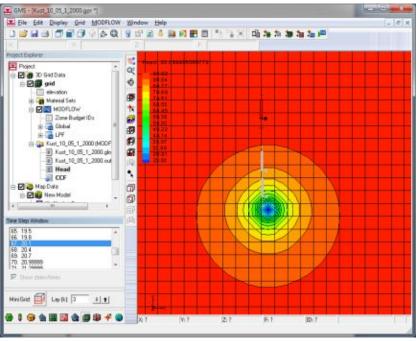




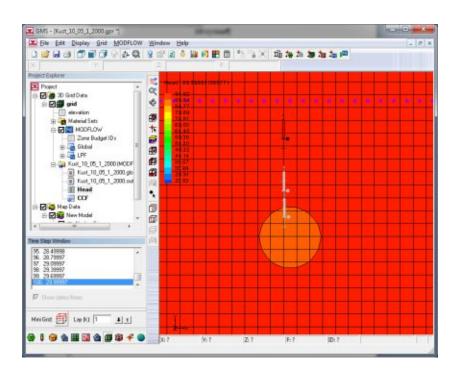
Изменение напоров при откачке в верхнем (слева) и нижнем слое модели через

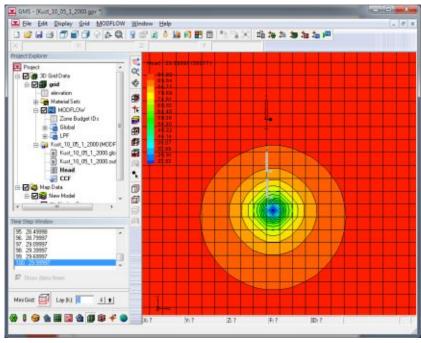
20 сут после начала откачки



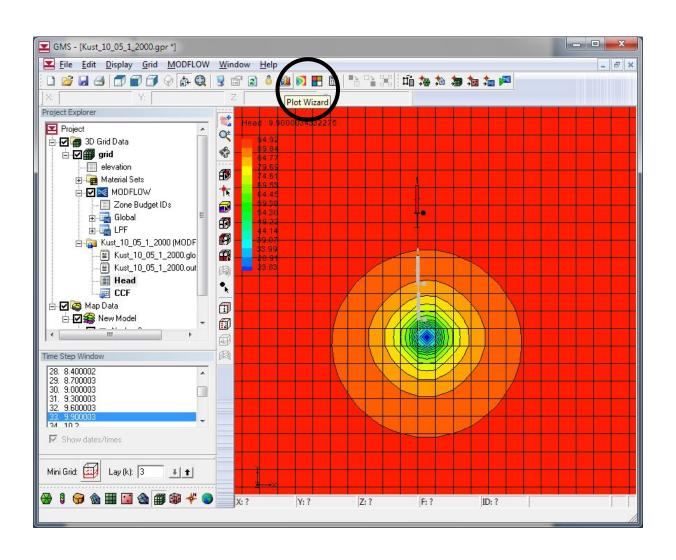


Изменение напоров при откачке в верхнем (слева) и нижнем слое модели через
30 сут после начала откачки

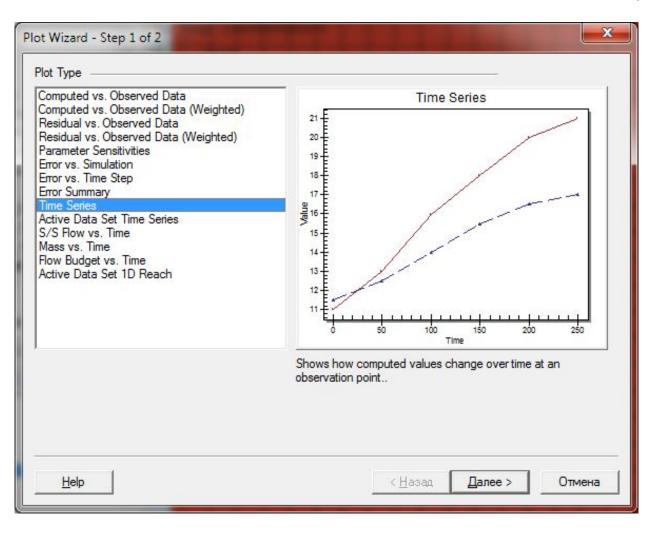




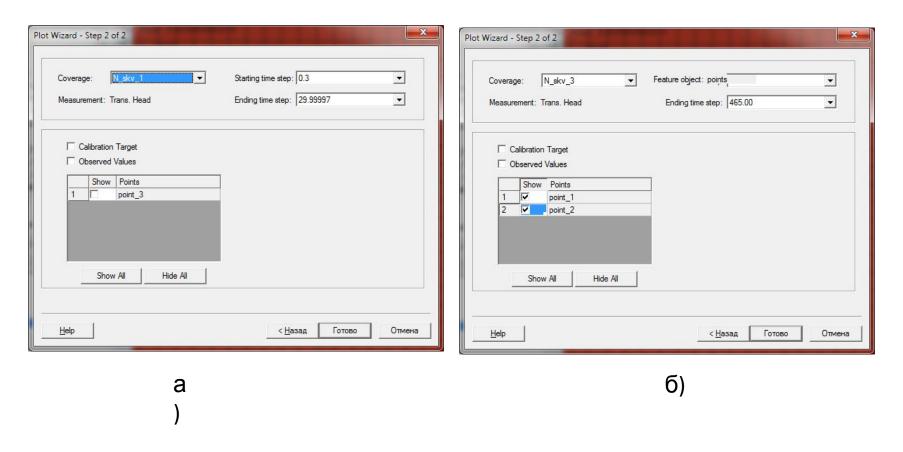
Кнопка активации мастера построения диаграмм



Меню активации мастера построения диаграмм (выбран режим построения графиков временного прослеживания уровней)

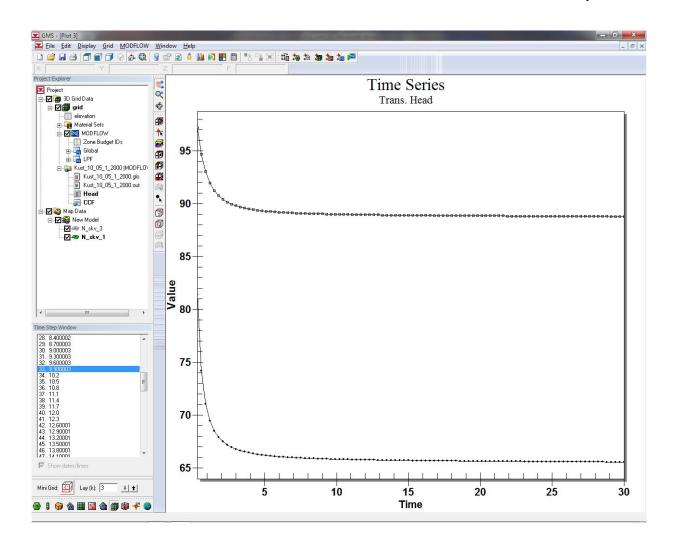


Меню выбора наблюдательных скважин для просмотра графиков временного прослеживания уровней

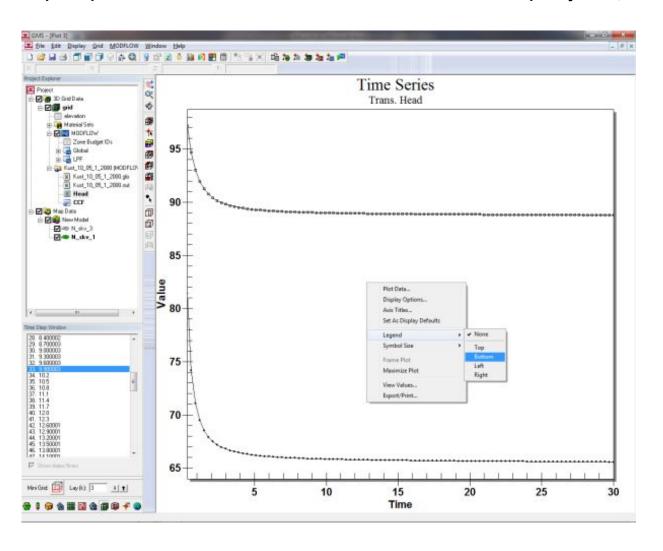


- а) в верхнем водоносном горизонте (poin_3);
- б) в нижнем водоносном горизонте (poin_1; point_2)

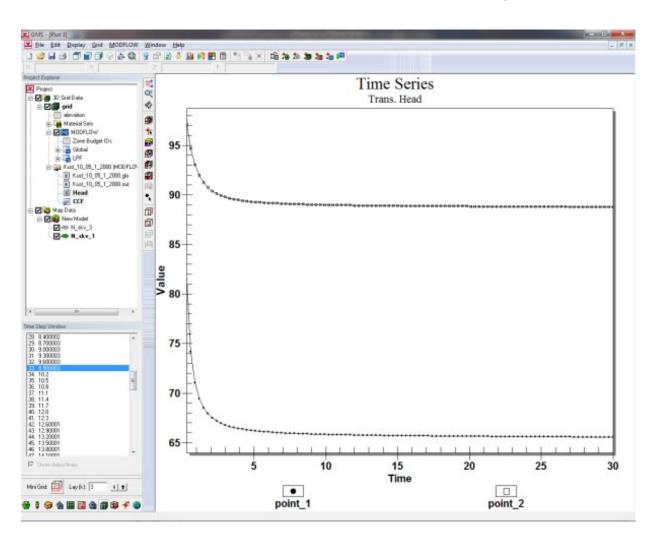
Режим просмотра графиков временного прослеживания уровней а наблюдательных скважинах нижнего водоносного горизонта



Контекстное меню настройки параметров диаграммы (выбран режим вывода легенды в нижней части рисунка)



Результат редактирования диаграммы (выведена легенда в нижней части рисунка)



Контекстное меню настройки параметров диаграммы (выбран режим просмотра таблицы замеров уровней)

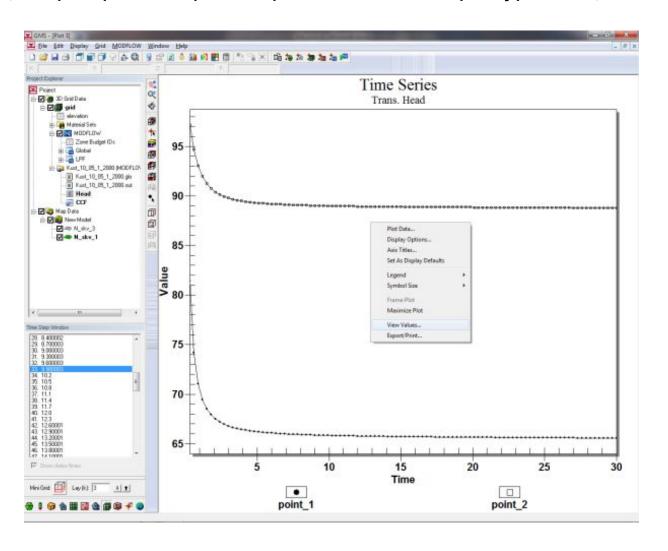
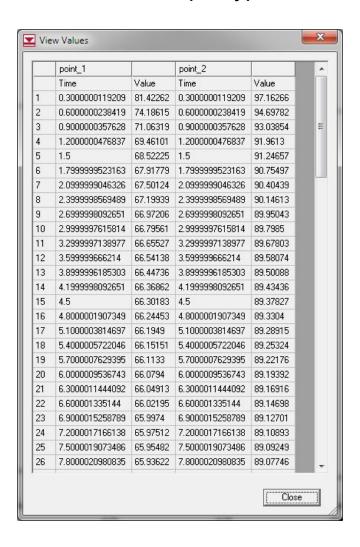


Таблица замеров уровней





Финишная обработка результатов моделирования

Заключительный этап работы предполагает объединение результатов моделирования откачки в общую базу данных.

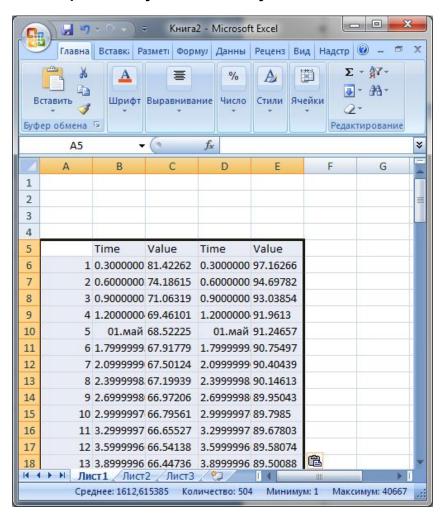
Наиболее простой путь объединения данных разных сеансов моделирования использование буфера обмена операционной системы. В этом случае данные таблицы замеров уровней выделяются и копируются в буфер обмена, затем следует переключение в среду *ПК EXCEL*, где происходит вставка скопированных данных и их накопления при повторении процедуры копирования как для других наблюдательных скважин в пространстве одной модели, так и для последующих сеансов моделирования.

Выделение данных для копирования в окне таблицы замеров уровней выполняется обычным образом при нажатой клавише *Shift*

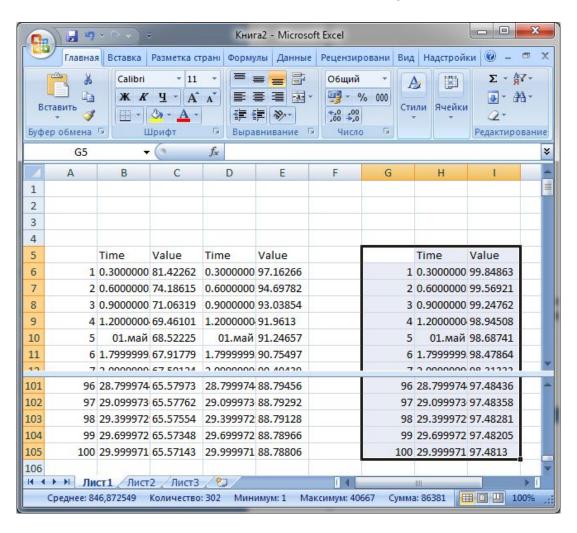
Выделенные данные в таблице замеров уровней



Результат вставки данных замеров уровней по нижнему водоносному горизонту в таблицу ПК EXCEL



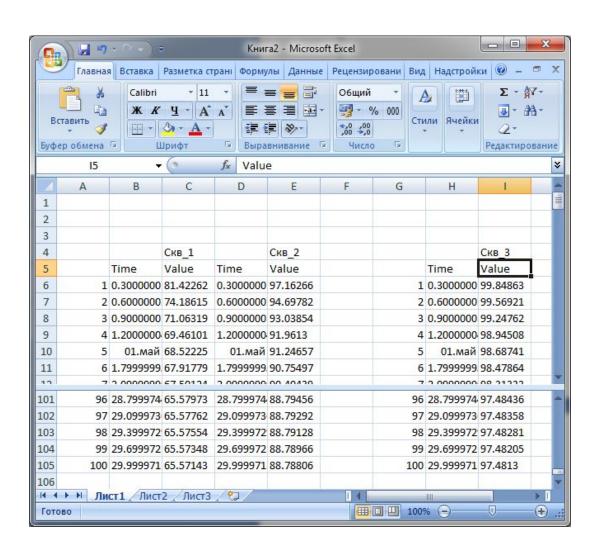
Результат вставки данных замеров уровней по нижнему и верхнему водоносным горизонтам в таблицу ПК EXCEL



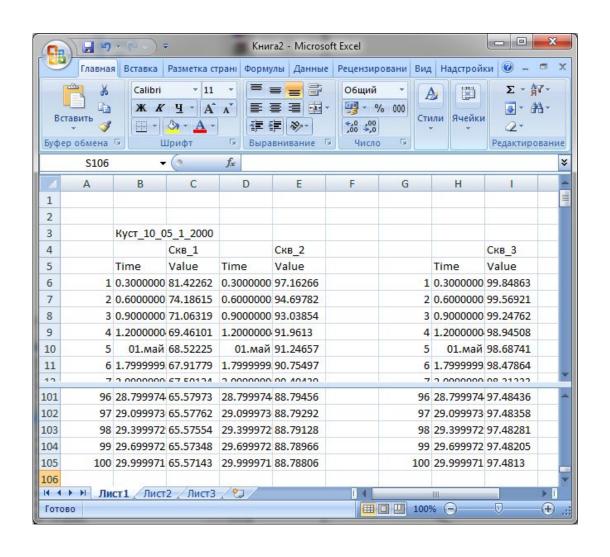
После переноса данных в таблицу *EXCEL*, завершается их обработка, которая включает:

- наименование столбцов значений уровней по наблюдательным скважинам;
- наименование очередного набора данных;
- удаление лишних столбцов с замерами времени;
- замена разделителей пробной части чисел с точки на запятую;
- проверка данных на однородность числового типа, исключение случайных текстовых переменных;
- построение индикаторных графиков откачки;
- пересчет напоров в величины глубин залегания уровней подземных вод

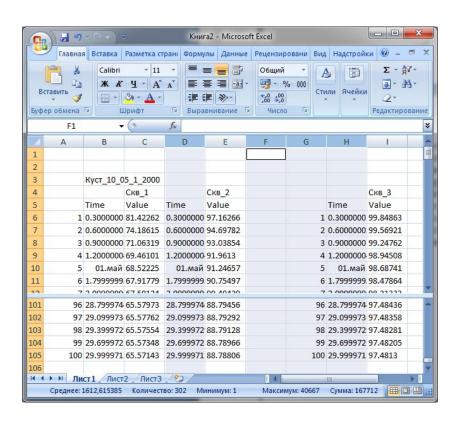
Результат наименования столбцов таблицы данных замеров уровней

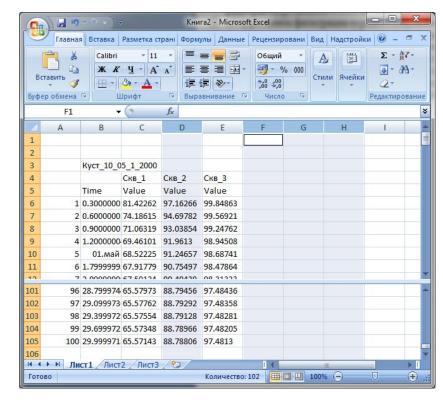


Результат наименования набора данных по наблюдательным скважинам



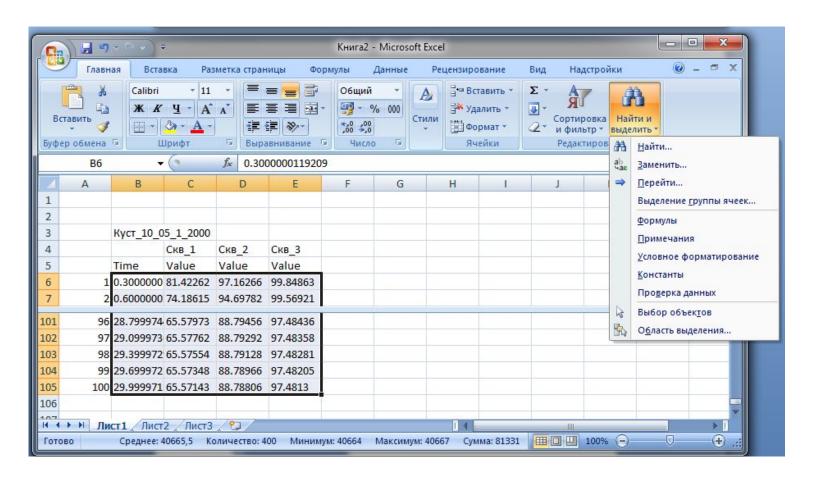
Подготовка к удалению (а), использована клавиша Ctrl для выделения несмежных диапазонов ячеек, и результат удаления лишних столбцов (б)



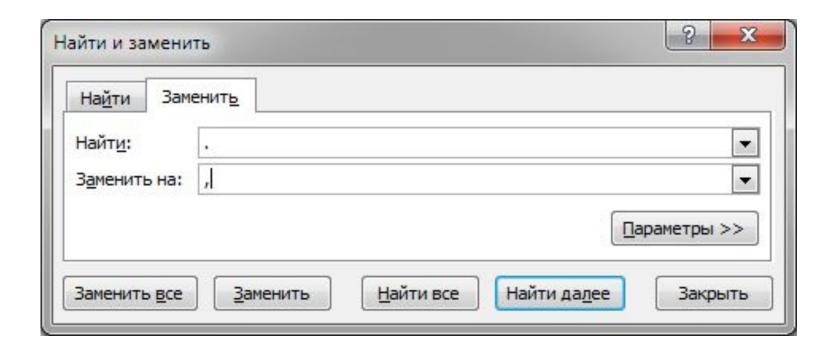


Подготовка (выделение) диапазона ячеек к замене разделителя дробной части чисел.

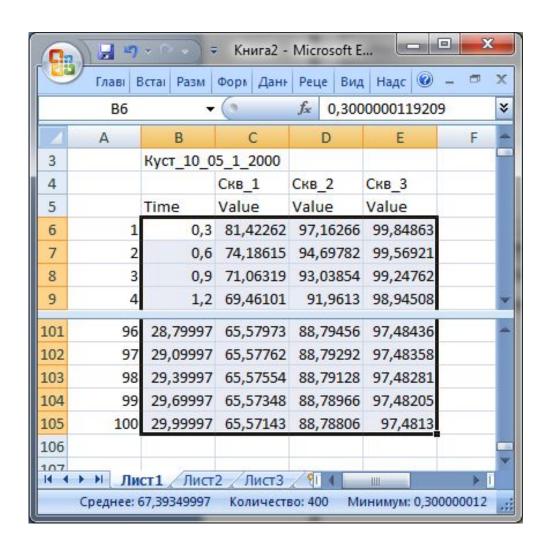
Активно окно выбора инструмента замены



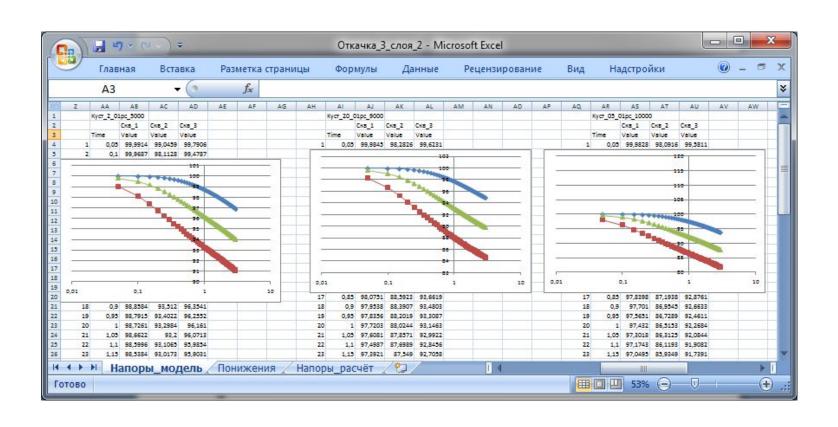
Настройка инструмента замены на изменение точки на запятую



Результат замены разделителя дробной части чисел

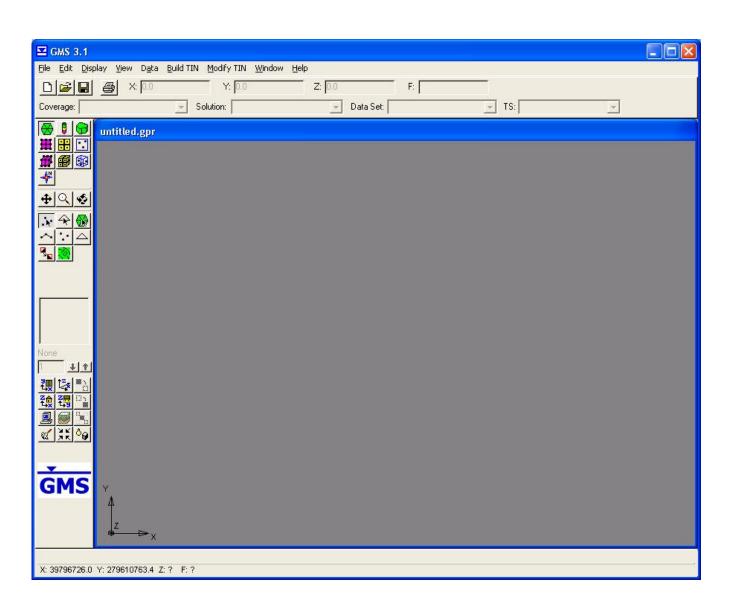


Индикаторные графики откачек в общей базе данных (фрагмент)



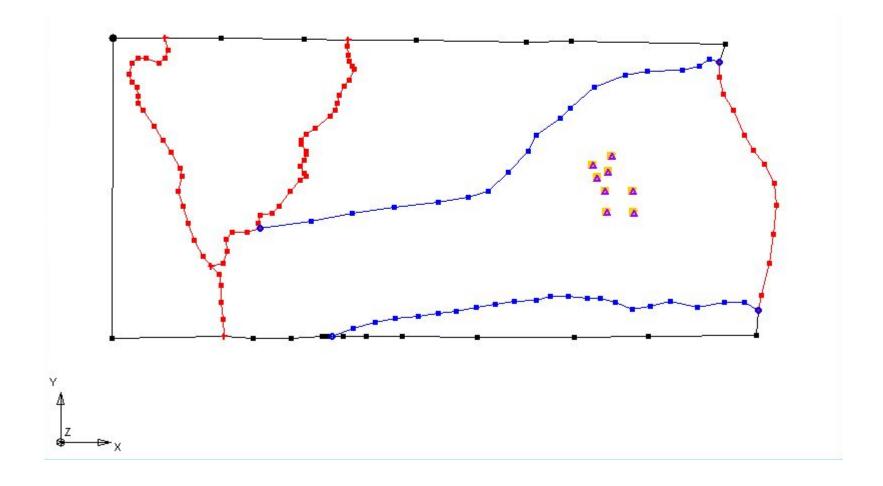
Создание численной гидродинамической модели с использованием покрытий, т.е. специальных электронных слоев для задания параметров (идеология концептуальной модели)

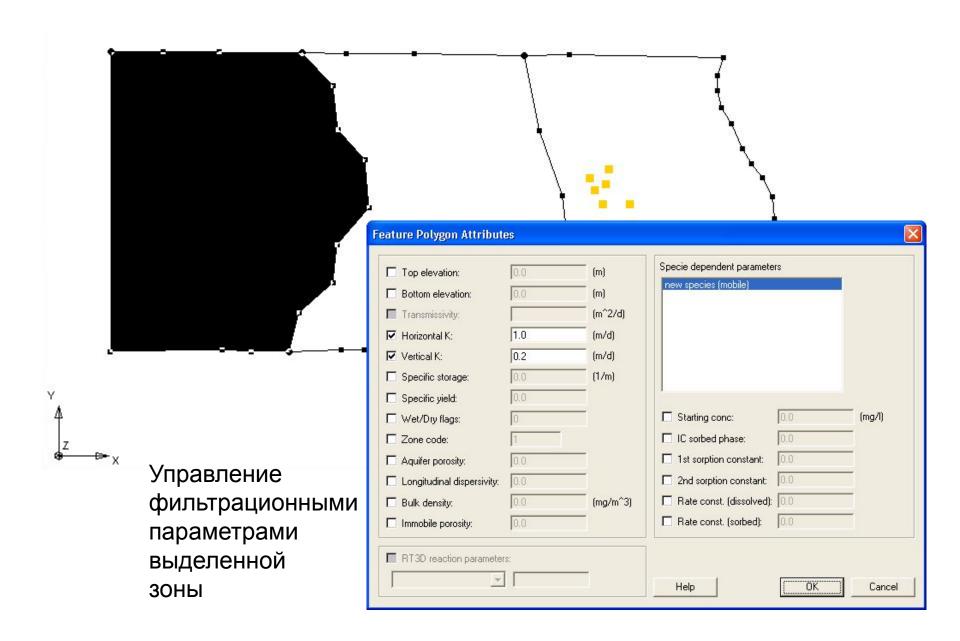
Главное окно программного комплекса

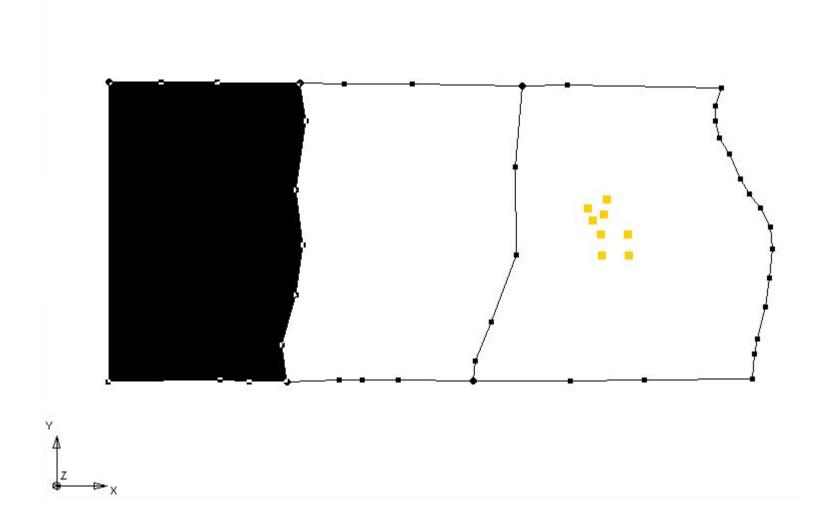


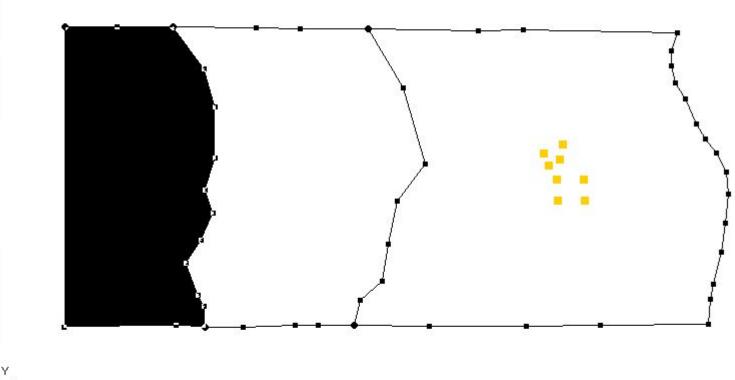
Режим задания граничных условий

Границы первого рода Реки Скважины Непроницаемые границы

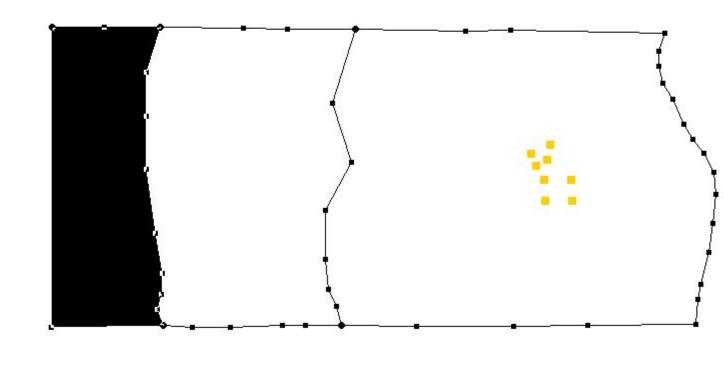






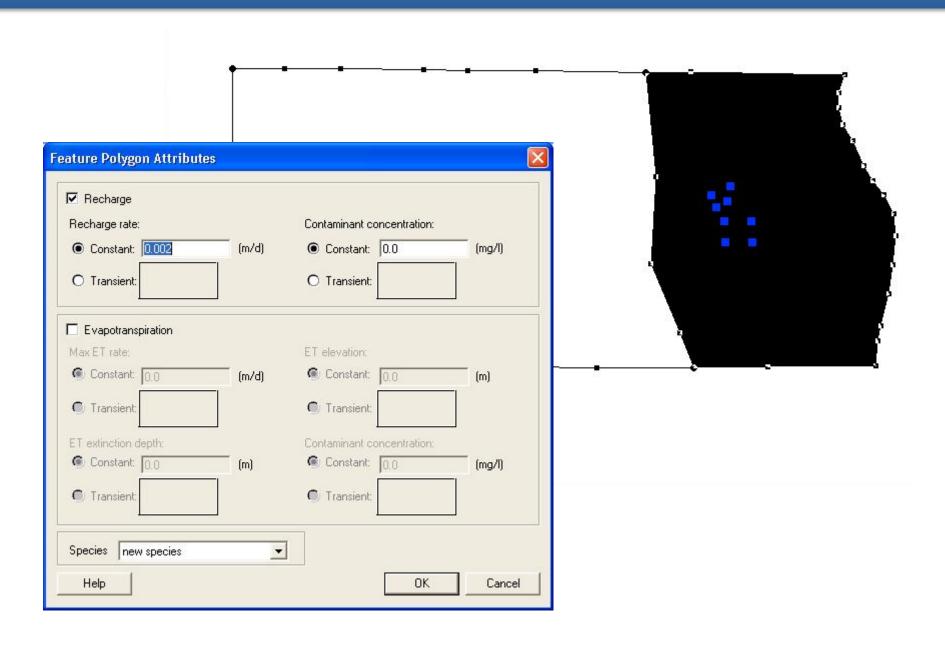




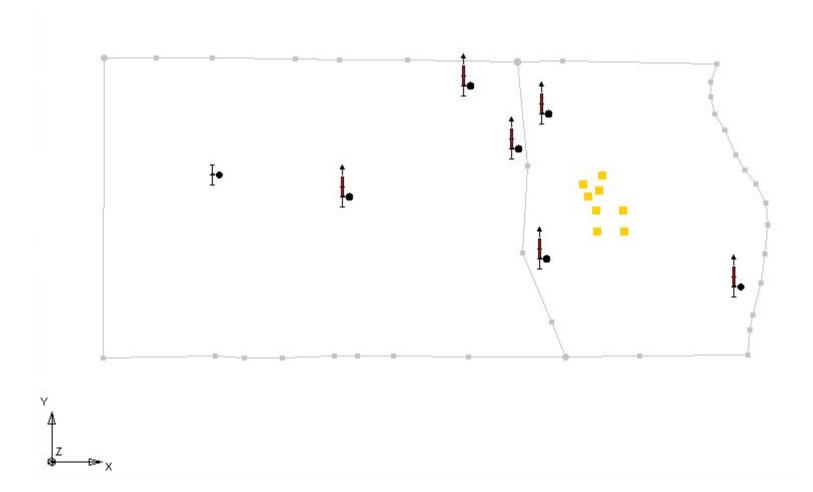




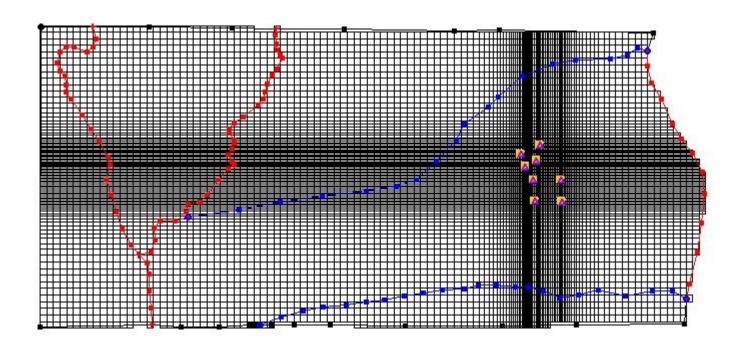
Режим задания зон неоднородности инфильтрационного питания



Режим задания наблюдательных скважин



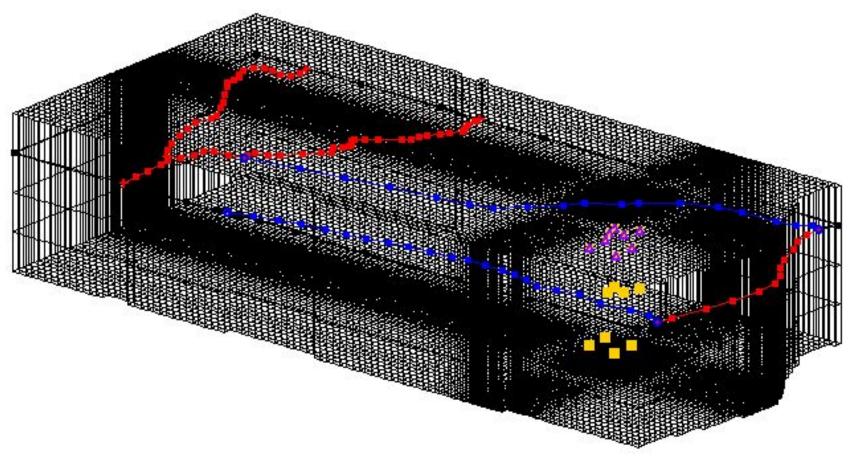
Конечно-разностная сетка области фильтрации, построенная в автоматизированном режиме (план)

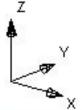




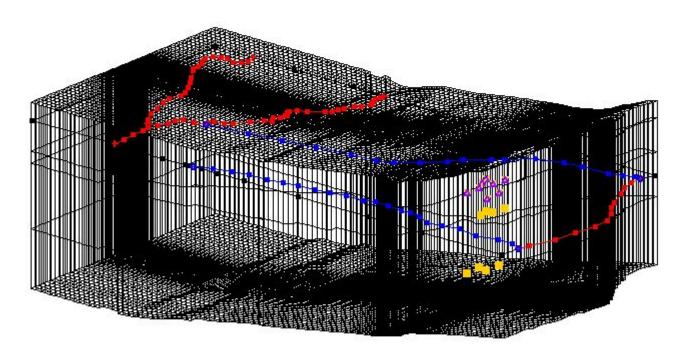
Конечно-разностная сетка

Пространственное представление конечно-разностной сетки области фильтрации в обычном представлении



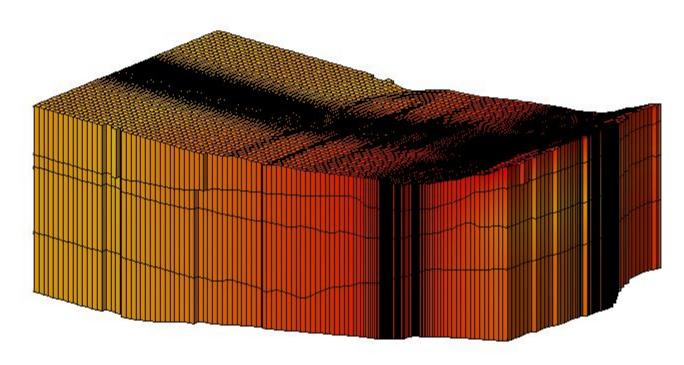


Пространственное представление конечно-разностной сетки области фильтрации в виде реалистичного представления слоистой толщи





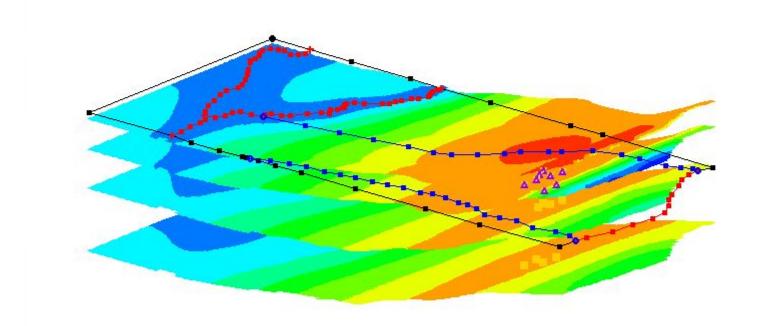
Пространственное представление конечно-разностной сетки области фильтрации в виде реалистичного представления слоистой толщи





Результат решения

Результат решения нестационарной задачи. Пространственное представление поля напоров





Особенности программного комплекса Groundwater Modeling System:

В состав программного комплекса входит большой набор вспомогательных средств для гибкого управления всеми элементами численной модели от наборов исходных данных и картографического материала до управления отладкой, процессом решения и постпроцессорной обработки результатов моделирования;

Программный комплекс использует для решения балансовых конечно-разностных уравнений два главных решающих модуля MODFLOW 96-базовый и MODFLOW 2000-с расширенными возможностями учёта сложных граничных условий, которые не только являются признанными мировым стандартами в решении прогнозных гидродинамических задач, но и используются в других программных комплексах гидродинамического моделирования;

Применение программного комплекса не вызывает вопросов по выбору программного обеспечения для решения прогнозных задач;

Большой набор относительно самостоятельных модулей требует грамотного комплектования пакета программ при приобретении