

Размещено на <http://www.allbest.ru>  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине:

Математические методы моделирования в геологии

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема: Создание математической модели системы взаимодействующих скважин в среде программного комплекса «Processing Modflow»

Автор: студентка гр. РГГ-13

Шитихин К. А./

Проверила: ассистент

Гребнева А. В.

Санкт-Петербург 2016 год

## Оглавление

Введение

Гидрогеологические условия водозаборного участка

Схематизация и типизация природных гидрогеологических условий

Методика создания математической модели

Моделирование системы взаимодействующих скважин

Заключение

Список литературы

## Введение

Целью курсовой работы является закрепление и углубление знаний, полученных при изучении курса «Математические методы моделирования в геологии», моделирование системы взаимодействующих скважин, получение навыков работы с программой «Processing Modflow 5.3».

Требуется:

построить карты гидроизопьез нарушенного фильтрационного потока;  
оценить темпы изменения пьезометрической поверхности под влиянием работы скважин;

определить прогнозные напоры в скважинах через год после начала эксплуатации водозаборной системы.

Обработка данных при создании математической модели системы взаимодействующих скважин проводилась с помощью программного комплекса «Processing Modflow».

Данные для создания математической модели приведены в задании к курсовой работе.

## Гидрогеологические условия водозаборного участка

В качестве задачи для моделирования рассматривается система двух взаимодействующих скважин на участке междуречного массива. Напорный водоносный горизонт имеет постоянную мощность, однороден по фильтрационным параметрам. В пределах водозаборного участка протекают две реки (Северная и Южная) гидравлически связанные с водоносным горизонтом. В естественных условиях за счет разницы в отметке поверхностных вод сформировался фильтрационный поток, направленный от русла южной реки в сторону северной.

В пределах междуречного массива проектируется создание водозаборной системы из двух скважин со сложным режимом эксплуатации. В одной скважине предполагается проводить водоотбор, а в другой нагнетание.

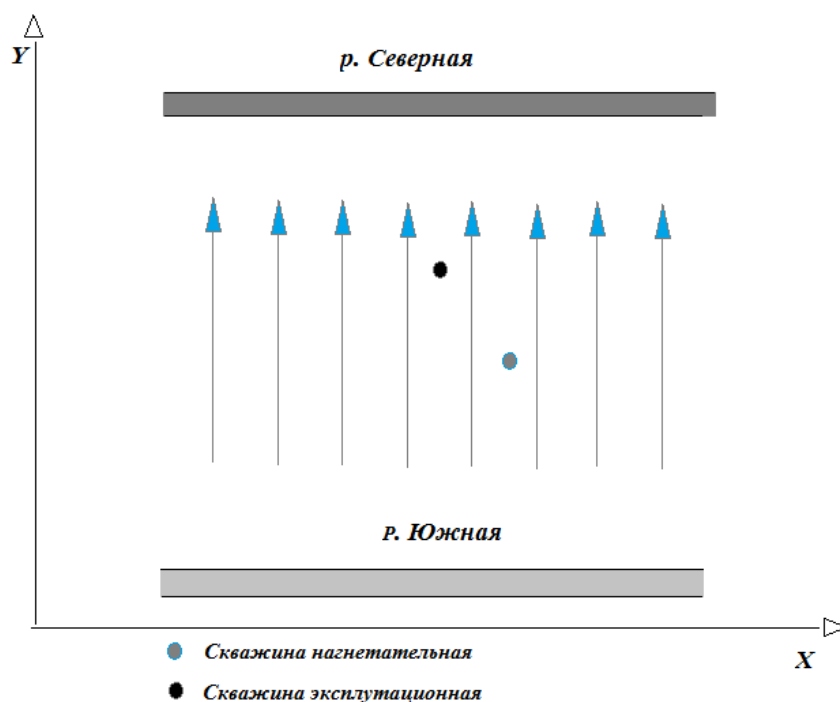


Рис. 1. План расположения возмущающих скважин

## Схематизация и типизация природных гидрогеологических условий

От качества типизации и схематизации гидрогеологических условий зависит достоверность построенной математической модели изучаемого объекта и выполненных на ней инженерных прогнозов или научных исследований.

Типизация гидрогеологических условий - представляет собой гидродинамическое районирование территории с выделением однотипных участков по гидродинамическим особенностям и возможным расчетным схемам. Они выделяются по общности структуры потока, условий залегания и гидравлическому состоянию водоносных горизонтов или комплексов, по общности строения пласта и видам границ и действующих на них граничных условий.

Модель - это любой образ, аналог мысленный или установленный изображение, описание, схема, чертеж, карта и т. п. какого либо объема, процесса или явления, используемый в качестве его заменителя или представителя. Сам объект, процесс или явление называется оригиналом данной модели.

Моделирование - это исследование какого либо объекта или системы объектов путем построения и изучения их моделей. Это использование моделей для определения или уточнения характеристик и рационализации способов построения вновь конструируемых объектов.

Схематизация гидрогеологических условий - заключается в упрощении природной обстановки и действующих факторов в пределах выделенных типовых районов и всей исследуемой территории в целом.

Различают четыре типа граничных условий:

Граничные условия I рода – это границы заданных функций напора от времени. И частный случай – это граница с постоянным напором  $H = \text{const}$ . Чаще всего граничные условия I рода применяются для задания внешних границ, про которые достоверно известно, что уровень на них не зависит от

происходящего внутри моделируемой области (либо этой зависимостью можно пренебречь). Границей I рода может выступать река, достоверно обладающая хорошей гидравлической связью с моделируемым водоносным горизонтом.

В данной курсовой работе применяются граничные условия первого рода для рек.

Граничные условия II рода – это границы с заданной функцией расхода от времени  $Q(t)$ . Три наиболее распространённых частных случая: граница с постоянным расходом  $Q = \text{const}$ ; непроницаемая граница с расходом  $Q = 0$  и верхняя граница с заданной величиной инфильтрационного питания, т.е. граница с постоянным расходом.

В работе граничные условия второго рода использовались для скважин!

Граничные условия III рода – это границы с заданной линейной зависимостью расхода от напора  $Q(t) = H(t)$ . Это наиболее распространённый в природе тип границ. Удаленные границы первого рода; родники, разгружающиеся через слабопроницаемый покровный слой; реки со слабопроницаемыми подрусловыми отложениями; озера; водохранилища – все эти случаи описываются граничными условиями III рода.

Граничные условия IV рода - отвечает случаю взаимодействия двух разнородных горизонтов. Здесь напоры  $H(t)$  и расходы  $Q(t)$  через элементарное поперечное сечение любой полосы тока с обеих сторон этой границы равны между собой.

**Схематический гидрогеологический разрез**

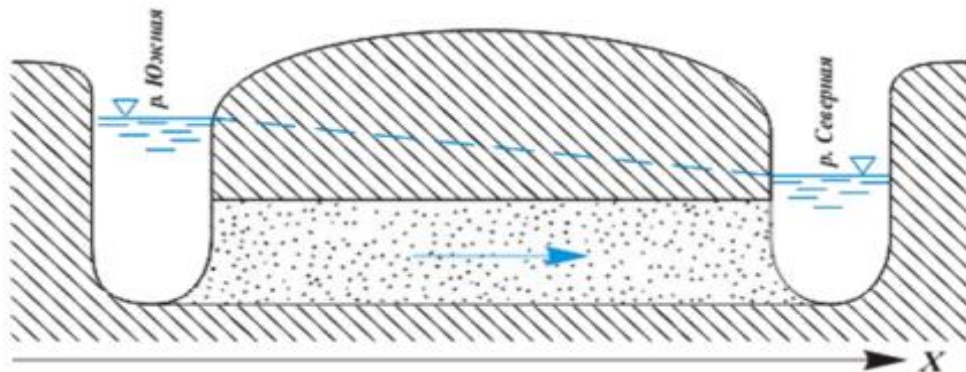


Рис. 2. Напорное движение между двумя параллельными реками

Методика создания математической модели

Первый шаг в управлении моделирования заключается в создании новой модели

Чтобы создать модель нужно:

File (файл) → New Model (новая модель) → Создаем папку «моделирование» → Сохраняем модель под именем «курсовая»

Задаются параметры сетки модели:

Grid (сетка) → Mesh Size (размеры модели) → Layers; Number (60;40) → Size (20)

Задаются размер модели:

Option → Enviroment → Coordinate System → задаются размеры в ячейках X2 и Y2 (1200 и 800) → ставится галочка в ячейке Display zones in the cell-by-cell mode → выход из размеров модели (Mesh Size) в главное меню с сохранением.

Продолжение задачи параметров сетки модели:

Grid (сетка) → Layer Type (тип слоев) → Type (выбирается тип слоя) (0 – напорный).

Задаются граничные условия только I рода. 0 – не расчетные блоки; 1 – активные блоки; -1 – границы I рода. Условий первого рода нет, значит, нужно просто зайти в граничные условия и выйти с сохранением.

Grid (сетка) → Boundary Condition (граничные условия) → IBOUND (Modflow), (фильтрация) → выход в главное меню с сохранением.

Задается кровля и подошва расчетного слоя:

Grid (сетка) → TOP (Top of Layers), (кровля расчетного слоя; 17) → выход в главное меню с сохранением.

Grid (сетка) → BOT (Bottom of Layers), (подошва расчетного слоя; 0) → выход в главное меню с сохранением.

Управление параметрами решения и свойствами ячеек конечно-разностной сетки. Задаются параметры модели: время, первоначальный напор, горизонтальный коэффициент фильтрации, вертикальный коэффициент фильтрации, эффективная пористость.

Parameters (параметры) → Time (время) → Simulation Time Unit (задается размерность измерений – seconds (секунды) → Simulation Flow Type (задаем режим: steady-stay – стационарный)

Parameters (параметры) → ИНН (Initial Hydraulic Heads), (первоначальный напор) → задается напор для всей модели (Value → Reset Matrix → 26 метров); для напора взяли среднее число между напорами рек Южная – 28 метров и Северная 23 метра;

Parameters (параметры) → ННС (Horizontal Hydraulic Conductivity), (горизонтальный коэффициент фильтрации) → задается напор для всей модели (Value → Reset Matrix → 26 метров в сутки (м/сут))

Model (модель) → Modflow → River (река) – нажимаем правой кнопкой мыши. Задаем следующие значения для реки Северная:

- Гидравлическая проводимость подруслового слоя CRIV [L<sup>2</sup>/T] – 100
- Напор в реке HRIV [L] – 23 метра;



Размещено на <http://www.allbest.ru>

Аналогично для другой реки.

Начинаем моделировать:

Model (модель) → Modflow → Run → Версия программы – MODFLOW96;

После успешного завершения вычислений необходимо проанализировать результаты моделирования и сохранить для тиражирования и дальнейшей интерпретации.

Далее выбираем режим просмотра результатов моделирования:

Tools → Presentation

Для вывода результатов требуется дополнительная настройка. Следует определить номер временного шага и вид карты напоров:

Tools → Presentation → Value → Results extractor → Read → Apply

Выб

Ралли просмотр напоров первого слоя модели на конец первого временного шага; для просмотра данных следует нажать кнопку Read; для использования полученных данных в построение карты гидроизопьез следует нажать кнопку Apply.

Далее приступаем к построению карты гидроизопьез:

Options → Environment → Contours

В появившемся окне производим следующие действия:

Visible(ставим галочку) → Restore Defaults(в столбце level появляются наши данные полученные ранее) → Label Format → Fixed (галочка) → ok

Далее рассчитываем водный баланс:

Tools → Water Budget

Сохраняем текстовый файл с расчетом водного бюджета.

Управление параметрами граничных условий. После решения задачи в естественных условиях, подключаем скважину для этого делаем следующее:

Model (модель) → Modflow → Well (скважины) → (+) – нагнетание (синий цвет); (-) – откачка (красный цвет)

Задаем время:

Размещено на <http://www.allbest.ru>

Parameters (параметры) → Time (время) → Simulation Time Unit (задается размерность измерений – days (дни) → Simulation Flow Type (задаем режим: steady-stay – стационарный, transient – не стационарный)

Задаем коэффициент упругоёмкости водовмещающих пород

Parameters → Specific Storage → Value → Reset Matrix (0,001)

Начинаем моделировать:

Model (модель) → Modflow → Run

Tools → Presentation → Value → Results extractor → Read → Apply

Options → Environment → Contours → Visible(ставим галочку) → Restore

Defaults → Label Format → Fixed (галочка) → ok

Далее рассчитываем водный баланс:

Tools → Water Budget

Моделирование системы взаимодействующих скважин

При дальнейшем анализе следует учитывать, что скважина красного цвета является эксплуатационной, дебит данной скважины составляет 1500 м<sup>3</sup>/сут, а скважина синего цвета является нагнетательной, ее дебит составляет 830 м<sup>3</sup>/сут.

Стационарный режим.

Стационарный режим – режим фильтрации в естественных условиях. Режим фильтрации моделируется без учета времени. Была построена карта гидроизопьез по которой видно, что, уровни подземных вод уменьшаются с 27 м до 24 м, следовательно, движение потока происходит с юга на север (рисунок 3).

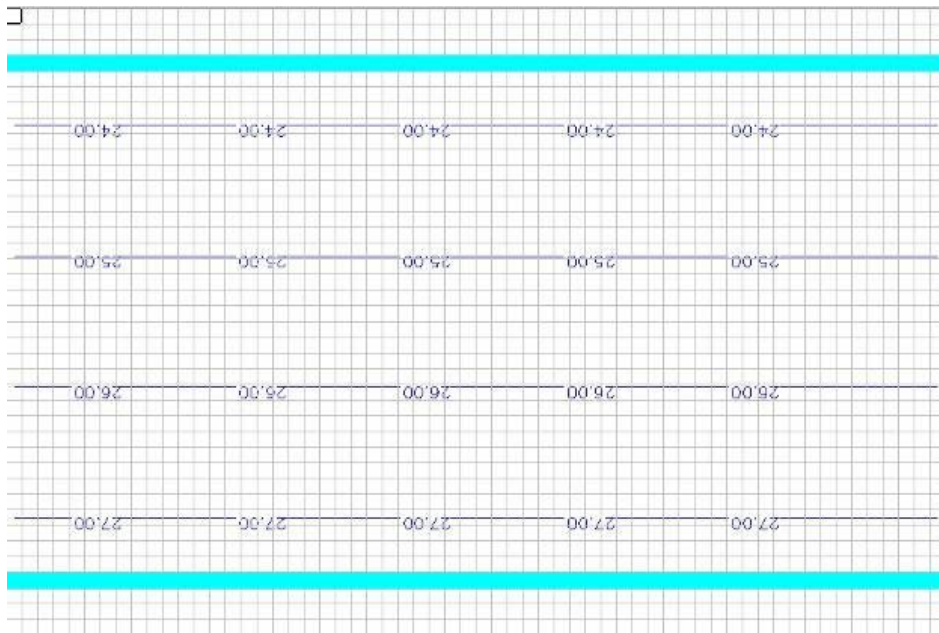


Рис.3. Естественные условия

PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD  
FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ARE ENTERING A  
SUBREGION

THE UNIT OF THE FLOWS IS [L<sup>3</sup>/T]

TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 1

=====

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

=====

FLOW TERM IN OUT IN-OUT

STORAGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

CONSTANT HEAD 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

WELLS 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

DRAINS 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

RECHARGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

ET 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

RIVER LEAKAGE 2.1442441E+03 2.1442432E+03 9.7656250E-04

Размещено на <http://www.allbest.ru>

HEAD DEP BOUNDS 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
STREAM LEAKAGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
INTERBED STORAGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
MULTI-AQIFR WELL 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
-----  
SUM 2.1442441E+03 2.1442432E+03 9.7656250E-04  
DISCREPANCY [%] 0.00

Рис.4. Водный бюджет в стационарном режиме фильтрации

Таблица 1. Водный бюджет для стационарного режима

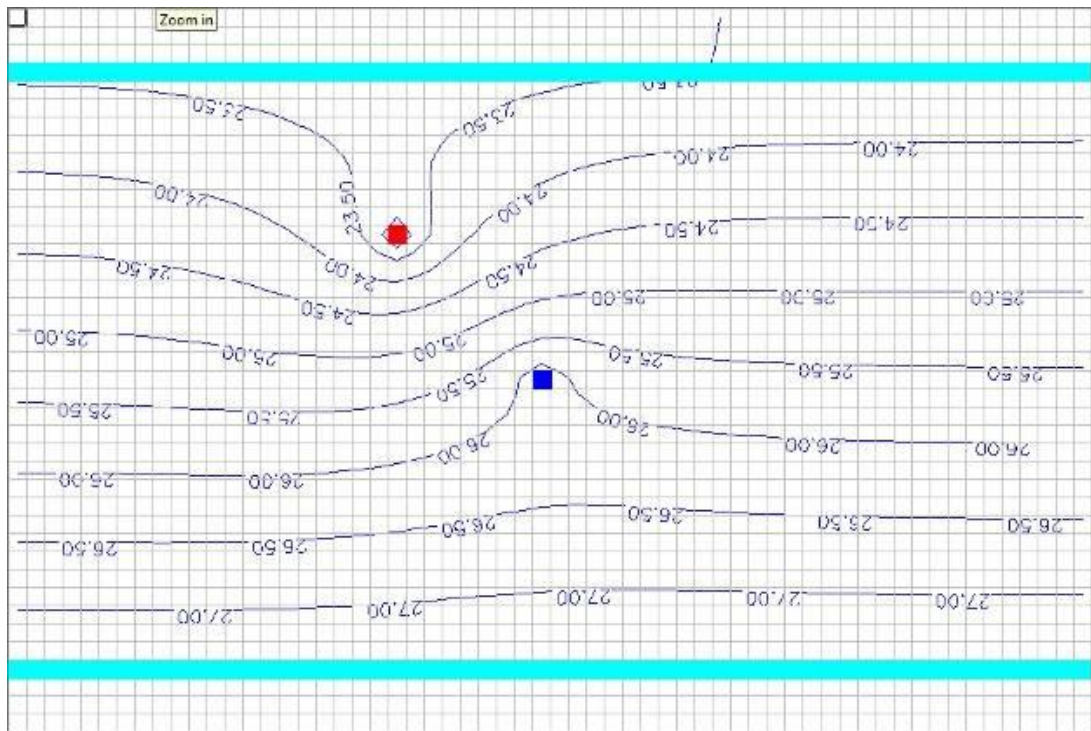
Основные ресурсы	Приход, м3/сут	Расход, м3/сут	Ошибка
Реки	2144,2	2144,2	-0,001
Итого ресурсов	2144,2	2144,2	0

Ресурсы подземных вод формируются за счет рек и равняются 2144,2м3/сут .

Нестационарный режим.

Нестационарный режим фильтрации – изменяющийся во времени. Для данного режима задаем время, равное 1 год, и 2 функционирующие скважины – эксплуатационная и нагнетательная.

Уровни подземных вод уменьшаются от 27 до 23,5 м, концентрируясь в 1 скважине, следовательно, движение идет с юга на север, к 1 скважине.



красная – скважина эксплуатационная синяя – скважина нагнетательная

Рис.5. Карта прогнозных уровней подземных вод через год после начала эксплуатации водозаборной системы

### PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD

FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION

THE UNIT OF THE FLOWS IS [L<sup>3</sup>/T]

TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 1

=====

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

=====

FLOW TERM IN OUT IN-OUT

STORAGE 2.7108197E+02 9.3113922E+01 1.7796805E+02

CONSTANT HEAD 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00

WELLS 8.3000000E+02 1.5000000E+03 -6.7000000E+02

Размещено на <http://www.allbest.ru>

DRAINS 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
RECHARGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
ET 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
RIVER LEAKAGE 2.3487959E+03 1.8567494E+03 4.9204651E+02  
HEAD DEP BOUNDS 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
STREAM LEAKAGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
INTERBED STORAGE 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
MULTI-AQIFR WELL 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00  
-----  
SUM 3.4498779E+03 3.4498633E+03 1.4648437E-02  
DISCREPANCY [%] 0.00

Рис.6. Водный бюджет через год после эксплуатации водозаборной системы

Таблица 2. Водный бюджет для нестационарного режима

Основные источники	Приход, м3/сут	Расход, м3/сут	Ошибка
Водоотдача	271	93	1779
Скважины	830	1500	-670
Реки	2349	1857	492
Итого ресурсов	3449	3449	0,0464

На рисунке 5 мы видим изменения уровня водоносного горизонта при откачке и нагнетании воды в течение года. Ресурсы подземных вод в нестационарном режиме формируются за счет рек и равняются 2349 м3/сут, водоотдачи – 271 м3/сут, скважин – 830 м3/сут .

## Заключение

В ходе выполнения курсовой работы, были закреплены знания, полученные при изучении курса «Математические методы моделирования в геологии», научились моделировать системы взаимодействующих скважин, получили навыки работы с программой «Processing Modflow 5.3», была охарактеризована схематизация и типизация природных гидрогеологических условий.

В результате моделирования системы взаимодействующих скважин, расположенных на межпластовом водоносном горизонте, был сделан прогноз о режиме фильтрации системы на период 1 года с помощью графического материала карт участка.

Ресурсы подземных вод в стационарном режиме формируются за счет рек и равняются 2144,2 м<sup>3</sup>/сут. Ресурсы подземных вод в нестационарном режиме формируются за счет рек и равняются 2349 м<sup>3</sup>/сут, водоотдачи – 271 м<sup>3</sup>/сут, скважин – 830 м<sup>3</sup>/сут .

Список литературы

Копылов, А. Гидрогеологическое моделирование [Электронный ресурс] / А. Копылов. – Режим доступа: [http://water.alick.ru/2011/12/blog-post\\_15.html](http://water.alick.ru/2011/12/blog-post_15.html)

Кузеванов К. И. Моделирование работы системы взаимодействующих скважин в среде PMWIN (Processing Modflow). – Томск: И. Томского политехнического университета, 2011.-64 с.

Вэнь - Син Чан, Вольфганг Кинзельбах. Processing Modflow - система для моделирования подземных вод, потока и загрязнения окружающей среды – Гамбург, Цюрих. 1998 г. – 9 с.