

# РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука  
Сибирского отделения Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИНГГ СО РАН  
Академик РАН

\_\_\_\_\_ М.И. Эпов

“ “ \_\_\_\_\_ 2014 г.

## ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Математическое моделирование в гидрогеологии

Направление подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле

Уровень образования: подготовка кадров высшей квалификации

Направленность подготовки: Гидрогеология

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Новосибирск 2014

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования «Подготовка кадров высшей квалификации». Направление подготовки 05.06.01 Науки о Земле, утвержденный Министерством образования и науки от 30.07.2014 № 870.
2. Паспорт научной специальности 25.00.07 – «Гидрогеология», разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утверждённой приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 г. № 59.
3. Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 25.00.07 – «Гидрогеология», утверждённая приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 № 274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов».

Составитель программы:

Зав. лабораторией, доцент, к.г.-м.н. \_\_\_\_\_ Д.А. Новиков

Ответственный за направленность  
подготовки:

зам. директора по научной работе  
д.г.- м.н., чл.-корр. РАН

\_\_\_\_\_ А.В. Каширцев

ПРИНЯТО

Учёным советом ИНГГ СО РАН

Протокол № 11 от 02.09.2014

Учёный секретарь, к.г.-м.н. А.М. Санчаа

\_\_\_\_\_

## 1. Цели освоения дисциплины

*Основной целью преподавания дисциплины* является формирование общих представлений и понимания теоретических основ численного моделирования гидрогеологических объектов и протекающих в них процессов геофильтрации, геомиграции и геохимических процессов в системе вода - порода. При этом теоретические знания должны стать базой для освоения методов структурирования и организации хранения гидрогеологической информации, её обработки, обобщения и анализа с использованием современного оборудования, компьютерных технологий и моделирования.

*Содержание дисциплины:* виды моделей и моделирования; техническая и программная база численного моделирования; модели данных, статистические модели, ГИС; численно-аналитические и численные методы моделирования геофильтрации; прямые и обратные задачи; параметры моделей и их оценка; численная реализация метода конечных разностей; принципы моделирования геомиграции; моделирование геохимических процессов; комплексные модели.

## 2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 05.06.01 Науки о земле

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы аспирантуры по направленности подготовки «Гидрогеология». Преподается на третьем курсе.

Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся для успешного освоения дисциплины:

- теоретические основы общей гидрогеологии и гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов;
- теоретические основы условий залегания подземных вод, основных генетических типов вод и этапов формирования их состава;
- базовые знания об основах нефтегазопоисковой и нефтегазопромысловой гидрогеологии.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Универсальные компетенции:

УК -1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
УК - 3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
-------	--

Научно – производственная деятельность:

ПК-10	способен применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения фондовой, полевой и лабораторной геологической, геофизической, геохимической, гидрогеологической, инженерно-геологической, нефтегазовой и эколого-геологической информации (в соответствии с профилем подготовки)
-------	---

Профессиональные компетенции:

ПК-15	способен использовать профильно-специализированные знания в области геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии и инженерной геологии, геологии и геохимии горючих ископаемых, экологической геологии для решения научных и практических задач (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-17	способен использовать профильно-специализированные информационные технологии для решения геологических, геофизических, геохимических, гидрогеологических, нефтегазовых и эколого-геологических задач (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

***Знать:***

- основные методы численного моделирования природных гидрогеологических объектов;
- схематизацию гидрогеологических условий и прогнозного и эпигнозного моделирования главных гидрогеологических процессов в верхней части земной коры и глубоких горизонтах;
- компьютерные методы решения геологических и гидрогеологических задач и картирования, особенности распространения вод в НГБ;
- основы гидродинамики, гидрогеотермии и гидрогеохимии НГБ;
- основные закономерности изменчивости гидрогеологических свойств НГБ;
- структуру и стадийность нефтегазовых гидрогеологических исследований НГБ;
- нефтегазопоисковую значимость подземных вод НГБ;
- гидрогеологические особенности разрабатываемых нефтяных месторождений;
- бальнеологические, геотермальные, техноценные и технологические свойства подземных вод НГБ.

***Уметь:***

- описывать и оценивать роль природных и техногенных гидрогеохимических процессов и явлений;
- рассчитывать формы миграции и равновесия воды с минералами породами;
- использовать ЭВМ при обработке и анализе информации;
- проводить компьютерную обработку результатов полевых и лабораторных исследований, статистических обобщений;
- составлять гидрогеохимические карты и разрезы, а также карты по результатам геогидродинамического и физико-химического моделирования.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 часов

Вид учебной работы	Объём часов / зачетных единиц
<b>Всего</b>	<b>144/4</b>
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>62</b>
в том числе:	
лекции	30
семинары	4
практические занятия	28
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>82</b>
<b>Вид контроля по дисциплине:</b> Курсовая работа	

#### 5. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семинар	СРА	Всего
1.	Введение	2					2
2.	Моделирование гидрогеологических объектов	4				4	8
3.	Численное моделирование геофильтрации	6				4	10
4.	Моделирование гидрогеохимических процессов	8			2	4	14
5.	Моделирование геомиграции	6				4	10
6.	Научные и практические проблемы моделирования в гидрогеологии	4			2	2	8
7.	Создание и использование компьютерных баз данных			2		2	4
8.	Обобщение данных методами математической статистики			2		4	6
9.	Гидрогеологическое картирование на основе ГИС-технологий.			4		2	6
10.	Численно-аналитическая обработка результатов опытно-фильтрационных работ			4		2	6
11.	Компьютерное моделирование и оптимизация работы водозаборов и систем нагнетания			2		4	6
12.	Решение гидродинамических задач на сеточных моделях			4		2	6
13.	Гидрогеохимические пересче-			2		4	6

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семинар	СРА	Всего
	ты, моделирование комплексобразования						
14.	Моделирование взаимодействия в системе вода-порода			4		2	6
15.	Моделирование водно-газовых равновесий			2		4	6
16.	Знакомство с профессиональными программными комплексами и системами			2		4	6
17.	Курсовой проект и написание научного отчета					34	34

#### 6. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
Лекции		
1	Введение	<p><i>1. Предмет, состав и содержание курса.</i> Предмет, состав и содержание курса. История развития. Методология и основные понятия. Современное состояние. Типы моделей: физические, аналоговые, численные, гибридные. Стохастические и детерминированные численные модели. Моделирование гидрогеологических объектов и процессов.</p> <p><i>2. Техническая и программная база математического моделирования.</i> Общие сведения об ЭВМ. Основные устройства и технические характеристики вычислительных систем. Компьютерные сети. Тенденции развития аппаратного обеспечения. Системное программное обеспечение. Современные операционные системы. Прикладное программное обеспечение. Программные средства общего назначения. Профессионально ориентированные программные системы.</p>
2.	Моделирование гидрогеологических объектов	<p><i>1. Гидрогеологические базы данных и их обслуживание.</i> Структурирование гидрогеологической информации. Программные средства управления базами данных. Накопление, редактирование и трансформирование информации. Использование табличных процессоров для первичной математической обработки гидрогеологических данных. Средства стохастического описания гидрогеологических объектов.</p> <p><i>2. Геоинформационные системы.</i> Создание и использование гидрогеологических геоинформационных систем. Состав программных средств и их основные функции. Применение ГИС-технологий для создания и функционирования постоянно действующих моделей гидрогеологических объектов. Состояние развития региональных и локальных гидрогеологических моделей в Сибирских регионах.</p>
3.	Численное моделирование геофильтрации	<p><i>1. Численно-аналитические методы.</i> Принципы фильтрационной схематизации. Аналитические и чис-</p>

		<p>ленно-аналитические фильтрационные расчеты и моделирование. Обработка данных опытно-фильтрационных работ. Моделирование и оптимизация подземных водозаборов и систем нагнетания.</p> <p>2. <i>Моделирование геофильтрации на пространственных сетках.</i> Конечно-разностная форма дифференциальных уравнений фильтрации. Принципы вычислительной схематизации. Численная реализация граничных условий. Учет нелинейности расчетных параметров. Основные методы решения систем конечно-разностных уравнения фильтрации. Общий алгоритм моделирования фильтрации. Обзор программных продуктов. Примеры реализации.</p>
4.	Моделирование гидрогеохимических процессов	<p>1. <i>Физико-химические основы моделирования.</i> Элементарная реакция. Основные положения теории растворов и методы определения активности. Расчет термодинамических параметров геохимических реакций. Учет кинетики реакций. Использование законов действия масс, электронейтральности и сохранения массы и энергии. Методы минимизации свободной энергии и констант равновесия.</p> <p>2. <i>Моделирование геохимических процессов.</i> Система вода-порода. Расчет форм миграции. Методы и алгоритмы моделирования фазовых взаимодействий, смешения, изменения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, привноса-выноса, радиоактивного распада, сорбции-десорбции. Система вода-газ. Моделирование водно-газовых равновесий. Обзор программных продуктов. Примеры реализации.</p>
5.	Моделирование геомиграции	<p>Процессы миграции. Конвективный массоперенос. Плотностная конвекция. Диффузия. Миграционная схематизация и принципы численного моделирования геомиграции. Гидродинамическая дисперсия. Учет гидрогеохимических процессов. Принципы построения комплексных моделей геофильтрации, геомиграции и гидрогеохимических процессов.</p>
6.	Заключение	<p>Научные и практические проблемы моделирования в гидрогеологии. Трудности реализации региональных моделей и учета процессов промерзания-оттаивания. Пути повышения эффективности гидрогеологических моделей. Основные задачи дальнейшего развития моделирования гидрогеологических объектов и процессов.</p>
Лабораторные занятия		
9.	Создание и использование компьютерных баз данных	Методы реализации, базы данных
10.	Обобщение данных методами математической статистики	Методы математической статистики и их программная реализация
11.	Гидрогеологическое картирование на основе ГИС-технологий.	Построение карт зональности и изоконцентраций

12.	Численно-аналитическая обработка результатов опытно-фильтрационных работ	Обработка материалов ГДИС
13	Компьютерное моделирование и оптимизация работы водозаборов и систем нагнетания	Проектирование водозаборных сооружений и систем поддержания пластового давления
14	Решение гидродинамических задач на сеточных моделях	Методы гидродинамического моделирования
15	Гидрогеохимические пере-счеты, моделирование комплексообразования	Работа в среде ПК «HydroGeo»
16	Моделирование взаимодействия в системе вода-порода	Работа в среде ПК «HydroGeo»
17	Моделирование водно-газовых равновесий	Работа в среде ПК «HydroGeo»
18	Знакомство с профессиональными программными комплексами и системами	Обзор программных продуктов
19	Написание научных отчетов	Основные правила написания и оформления отчетов. Основные правила проведения научных исследований, облегчающие создание отчетов.

## 7. Самостоятельная работа аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется курсовым проектом. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Ряд предусматриваемых учебной программой тем выносятся на более углубленное самостоятельное изучение путем ознакомления с рекомендуемыми и другими имеющимися в библиотеках источниками. В их число включены темы:

1. Численное дифференцирование.
2. Численное интегрирование.
3. Численное решение алгебраических уравнений.
4. Решение систем линейных и нелинейных уравнений.
5. Основы термодинамики.
6. Методы определения активности компонентов раствора.

В самостоятельную работу аспирантов включается также подготовка к лабораторным работам и курсовому проекту.

## 8. Оценочные средства для контроля успеваемости и аттестации по итогам освоения дисциплины. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Примерная тематика курсовых проектов

1. Оценка современного состояния нефтегазоносной системы методами численного физико-химического моделирования;
2. Гидрогеохимические последствия закачки промышленных отходов;
3. Создание гидродинамической модели пласта по результатам переинтерпретации результатов ГДИС;



4. Обработка и переинтерпретации гидрогеохимической информации методами математической статистики;
5. Составление сводных гидрогеологических и гидрогеолого-промысловых разрезов месторождений нефти и газа;

## **8.2. Рекомендуемая литература**

### **Основная**

1. Коновалова Н.В., Капралов Е.Г. Введение в ГИС. Учебное пособие. – Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского университета, 1995. – 149 с.
2. Гидродинамические расчеты на ЭВМ. Учебное пособие. / Под ред. Р.С.Штенгелова. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 335 с.
3. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. / Под ред. С.Р.Крайнова. – М.: Недра, 1988. – 254 с.

### **Дополнительная**

4. Термодинамическое моделирование в геологии: минералы, флюиды, расплавы. / Р.К.Ньютон, А.Навротки, Дж.Вуд и др. – М.: Мир, 1992. – 534 с.
5. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
6. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. – Новосибирск: Наука, 1981. – 247 с.
7. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. – М.: Недра, 1986. – 208 с.
8. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса. / А.Д.Полянин, А.В.Вязьмин, А.И.Журов, Д.А.Казенин. – М.: Факториал, 1998. – 368 с.
9. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т. 1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 611 с.
10. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1 и 2. – М.: Недра, 1990. – 319 и 427 с.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для лекций:

- аудиторный фонд ИНГГ СО РАН, ноутбук, мультимедиа проектор, экран.

Для практических занятий:

- Компьютеры с программным обеспечением: прикладные и специализированные программы Microsoft Excel, ПП WinSurfer, ПП HydroGeo, SigmaPlot, CorelDRAW, Statistica 8.0, RockWorks 15.0.
- результаты полевых и лабораторных исследований;
- базы гидрогеохимических, гидродинамических, геотермических данных;
- производственные отчеты;
- Библиотечный фонд ИНГГ СО РАН.

### **• Перечень используемых компьютерных программ**

1. программный комплекс HydrGeo.
2. СУБД Paradox.
3. Программный комплекс Statistica.
4. ГИС MapInfo.
5. Программа Surfer.
6. Программа-тренажер по численному моделированию геофильтрации.
7. Демонстрационные версии программных систем Селектор, Гибс, Софдек и др.

## **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Лабораторный курс основывается на реальных исходных данных по подземным водам и рассолам нефтегазоносных бассейнов Арктики. В результате выполнения учебных заданий осуществляется решение ряда конкретных практических вопросов в области геологии и геохимии подземных вод района исследований и формируется сводный отчет.

Итоговая аттестация в виде дифференцируемого зачета (зачета с оценкой) проводится после завершения лекционной и практической частей в форме устной защиты курсового проекта на семинаре.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ  
ЗА \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ УЧЕБНЫЙ ГОД

В рабочую программу курса «Математическое моделирование в гидрогеологии» образовательной программы по направленности подготовки «Гидрогеология» вносятся следующие дополнения и изменения: