



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра гидрологии и природопользования



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины Б1.В.ОД.16 Математическое моделирование в задачах  
охраны окружающей среды

Направление подготовки 05.03.06 Экология и природопользования

Тип образовательной программы академический бакалавриат

Направленность (профиль) Природопользование

Квалификация выпускника – БАКАЛАВР

Форма обучения очная, заочная

Согласовано с УМК географического  
факультета  
Протокол № 3  
От «17» апреля 2019 г.  
Председатель \_\_\_\_\_ Вологжина С.Ж.

Рекомендовано кафедрой:  
Протокол № 10  
от «08» апреля 2019 г.  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Аргучинцева А.В.

Иркутск 2019 г.

## Содержание

1. Цели и задачи дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ООП
3. Требования к результатам освоения дисциплины
4. Объем дисциплины и виды учебной работы
5. Содержание дисциплины
  - 5.1 Содержание разделов и тем дисциплины
  - 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами
  - 5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий
6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов
  - 6.1 План самостоятельной работы студентов
  - 6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:
  - а) основная литература
  - б) дополнительная литература
  - в) программное обеспечение
  - г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины
10. Образовательные технологии
11. Оценочные средства (ОС)

### 1. Цели и задачи дисциплины:

**Цель** – сформировать основы знаний по математическому моделированию различных природных процессов; научить выявлять закономерности путем правильной обработки экспериментального материала; анализировать полученные материалы и результаты; уметь использовать уравнения, описывающие природные процессы; делать обоснованные упрощения для замыкания уравнений; разбираться в постановке дополнительных условий (начальных и граничных); наглядно представлять результаты с помощью графических редакторов.

**Задачи** - понять возможности моделирования и его задачи для целей диагностики и прогноза; уметь правильно обрабатывать статистически эмпирический материал с точки зрения выявления закономерностей в виде теоретических линий связи, оценивать погрешности этих связей; знать уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси, уметь делать физически обоснованные упрощения, ставить начальные и граничные условия; познакомиться с простейшими методами аппроксимации частных производных и оценками точности аппроксимации; уметь моделировать простейшие экологические задачи; знать основные численные методы решения систем конечно-разностных уравнений; уметь интерпретировать полученные результаты и представлять их для наглядности в графическом редакторе; знать различные подходы к моделированию и уметь оценивать положительные и отрицательные возможности различных моделей.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Моделирование в задачах охраны окружающей среды» относится к профессиональному циклу Б1 ООП по направлению подготовки «Экология и природопользование». Освоение дисциплины требует от студентов интегральных знаний, а потому указанную дисциплину возможно изучать только на старших курсах (на 4 курсе в 7 и 8 семестрах очной формы и 5 курсе заочной формы обучения).

Теоретической основой образовательной программы «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды» являются фундаментальные знания дисциплин:

*математического и естественнонаучного цикла* – физика, математика, информатика, химия, биология, ГИС в экологии и природопользовании, геофизика;

*профессионального цикла* – учение об атмосфере, учение о гидросфере, оценка воздействия на окружающую среду и др.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:  
ПК-18.

*В результате освоения дисциплины обучающийся должен:*

**знать:** существующие различные подходы к выявлению закономерностей и моделированию загрязняющих ингредиентов, попадающих в атмосферу, гидросферу и на подстилающую поверхность от антропогенных источников;

**уметь:** уметь анализировать полученные закономерности и представлять результаты наглядно в виде графических материалов;

**владеть** базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук, обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию; способностью понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области экологии и природопользования.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

#### а) очное обучение – 5 зачетных единиц

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		7	8		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	102	44	58		
в том числе:					
Лекции	56	28	28		

Практические занятия (ПЗ)	42	14	28		
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР	4	2	2		
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>51</b>	<b>28</b>	<b>23</b>		
В том числе:					
Контрольные работы	4	2	2		
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
1) Самостоятельные работы студентов (задаваемые на дом)	22	12	10		
2) Самостоятельное изучение отдельных вопросов дисциплины с последующим обсуждением наиболее сложных моментов со студентами и преподавателем	25	14	11		
Расчётные работы					
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет)</b>		+			
(экзамен)	27		27		
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>102</b>	<b>44</b>	<b>58</b>		
Общая трудоемкость	часы	<b>180</b>	<b>72</b>	<b>108</b>	
	зачётные единицы	5	2	3	

**б) заочное обучение – 5 зачетных единиц**

<i>Вид учебной работы</i>	<i>Всего часов</i>	<i>Год обучения</i>			
		<b>5</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	26	26			
в том числе:					
Лекции	8	8			
Практические занятия (ПЗ)	16	16			
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР	2	2			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>145</b>	<b>145</b>			
В том числе:					
Контрольные работы	2	2			
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Самостоятельные работы студентов (задаваемые на дом)	143	143			
Расчётные работы					
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет)</b>					
(экзамен)	9	9			
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>26</b>	<b>26</b>			
Общая трудоемкость	часы	<b>180</b>	<b>180</b>		
	зачётные единицы	5	5		

## **5. Содержание дисциплины**

### **5.1 Содержание разделов и тем дисциплины. Все разделы и темы нумеруются**

#### **Раздел I. Введение. Основные задачи экологического прогнозирования.**

1. Функции математических моделей в задачах диагностики и прогноза.
2. Проблемы исходной информации.
3. Точность математических моделей.
4. Основные подходы к математическому моделированию. Проблемы замыкания.

#### **Раздел II. Простейшие статистические и параметрические модели.**

1. Модели отечественных и зарубежных авторов, предназначенные для описания распространения примесей в воздухе, водоемах и водотоках: стандартные методики, рекомендованные ГОСТ; метод распознавания образов (аналогий), метод разложения по естественным ортогональным составляющим, метод потенциалов, метод обобщенных показателей, метод Монте-Карло.
2. Возможности, достоинства и недостатки каждого из названных методов и границы их применимости.
3. Проблемы входной информации моделей.
4. Основные числовые характеристики, используемые в статистических моделях (начальные, центральные и смешанные моменты).
5. Статистические оценки гипотез вида экологических моделей.

#### **Раздел III. Теоретические закономерности поведения случайных величин**

1. Сигмальный масштаб
2. Метод наименьших квадратов.
3. Регрессионные линейные и нелинейные многомерные связи.

#### **Раздел IV. Виды источников загрязнения**

1. Типизация (формализация) источников загрязнения окружающей среды (форма, режим работы, подвижные и неподвижные источники). Их алгоритмизация в расчетах диффузии примесей.

#### **Раздел V. Дифференциальные уравнения переноса и турбулентной диффузии примесей в газовых и жидких средах**

1. Различные виды дифференциальных уравнений переноса и турбулентной диффузии примеси (сохраняющаяся примесь, учет распада примеси, учет гравитационного осаждения, учет источников, усреднение по Рейнольдсу).
2. Описание распространения примеси в однородной, изотропно однородной, анизотропной и неоднородной средах.
3. Вопросы замыкания, корректности и постановки граничных условий. Различные виды краевых задач.
4. Замечательная функция Дирака.
5. Различные возможности учета загрязняющих источников: путем включения их в правую часть дифференциального уравнения и через граничные условия. Калибровка и верификация моделей.

#### **Раздел VI. Возможности получения аналитических решений, их достоинства и недостатки**

1. Последовательные упрощения дифференциального уравнения переноса и турбулентной диффузии примесей с целью получения простейших аналитических решений для описания переноса субстанций вдоль траекторий; оценки времени распада субстанций с учетом действующего источника и без него; для описания только диффузии примесей.
2. Формулировка простейших одно- и двумерных задач переноса и диффузии примеси в водотоке, водоеме и атмосфере при различных предположениях об изменении скорости и коэффициентов турбулентности, позволяющих получать аналитические решения.
3. Аналитические решения, описывающие изменения концентрации примеси в атмосфере, озере и морской среде при постоянных и переменных коэффициентах турбулентной диффузии.

#### **Раздел VII. Расширение возможностей аналитических моделей**

1. Вероятностный подход к описанию климатических факторов и флуктуаций источников выброса загрязняющих ингредиентов.
2. Теоретические основы метода нахождения функций плотности вероятностей распределения входной информации.
3. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова и его возможности при описании вероятностей превышения установленных нормативных ограничений для загрязняющих выбросов.

### Раздел VIII. Численные модели

1. Возможности реализации моделей с помощью численных методов. Различие этих моделей от условий замыкания. Постановка начальных и граничных условий. Возможности, достоинства и недостатки этих моделей.
2. Метод сеток. Необходимость аппроксимации производных конечно-разностными аналогами. Методы представления производных конечно-разностными аналогами: разложение в ряд Тейлора, полиномиальная аппроксимация, интегральный метод, метод контрольного объема. Ошибки аппроксимации производных конечно-разностными схемами "вперед", "назад", центральными разностями.
3. Явные и неявные конечно-разностные схемы, преимущества и недостатки каждой из них при реализации.
4. Алгоритмы численных схем для уравнений переноса примесей и аппроксимация граничных условий для простейших сеточных областей.
5. Особенности конечно-разностных схем (плохая обусловленность, сильная разреженность матрицы коэффициентов полученной системы алгебраических уравнений, преобладание диагональных членов - ленточная структура).
6. Численные методы решения (монотонная и немонотонная прогонка). Вопросы устойчивости и сходимости решений.

### Раздел IX. Сопряженные уравнения для простейшего уравнения диффузии.

1. Проблемы оптимизации выбросов с помощью основных и сопряженных уравнений в простейшей модели.

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№№ разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин							
		I(1,3)	IV(1)	V(1,2)	VI(3)	VII(1)	VIII(2,3,4)	IX(1)	
Б1.Б.24	Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)								
Б1.Б.30	Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды								
Б1.В.ОД.17	Экологическое проектирование и экспертиза								

### 5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий

#### а) очное обучение

Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ	Семин.	Лаб.	СРС	Всего
<b>I</b>	<b>1</b>	<b>1</b>					<b>1</b>

		2	1				1
		3	1				1
		4	1				1
	<b>II</b>	1	2	2		6	10
		2	1			4	5
		3	1			4	5
		4	6	4		4	14
		5	2	2		4	8
	<b>III</b>	1	4	2		2	4
		2	4	2		2	8
		3	4	2		2	8
	<b>IV</b>	1	2			2	4
	<b>V</b>	1	1	2		2	5
		2	1	2		2	5
		3	1	2			3
		4	1				1
		5	2	2			4
	<b>VI</b>	1	2	2		2	6
		2	2	2		2	6
		3	1	2			3
	<b>VII</b>	1	2	2		2	6
		2	2	2			4
		3	1	2		2	5
	<b>VIII</b>	1	2				2
		2	2	2		2	6
		3	1	2		2	5
		4	1	2		2	5
		5	2	2		2	6
		6	2			1	3
	<b>IX</b>	1	4				4
	<b>Всего:</b>		56	42		51	149
	<b>КСР-4 ч</b>						4
	<b>Экзамен – 27 ч</b>						27
	<b>ИТОГО</b>						<b>180</b>

**б) заочное обучение**

Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ	Семин.	Лаб.	СРС	Всего
<b>I</b>	1					2	2
	2					2	2
	3					2	2
	4	1				2	3
<b>II</b>	1		1			3	4
	2					3	3
	3	1				3	4
	4	1				3	4
	5					6	6
<b>III</b>	1		1			6	7
	2	1				6	7
	3	1				6	7

	<b>IV</b>	1		1			6	7
	<b>V</b>	1	1				6	7
		2		1			6	7
		3		1			6	7
		4					6	6
		5		1			6	7
	<b>VI</b>	1	1				6	7
		2		1			6	7
		3		1			6	7
	<b>VII</b>	1		1			6	7
		2		1			6	7
		3		1			6	7
	<b>VIII</b>	1	1				6	7
		2		1			6	7
		3		1			6	7
		4		1			6	7
		5		1			3	4
		6					2	2
	<b>IX</b>	1		1				1
	<b>Всего:</b>		8	16			145	169
	<b>КСР-2 ч</b>							2
	<b>Экзамен – 9 ч</b>							9
	<b>ИТОГО</b>							<b>180</b>

## 6. Перечень семинарских, практических занятий лабораторных работ

### а) очное обучение

<b>№ п/п</b>	<b>№ раздела и (темы дисциплины)</b>	<b>Наименование семинаров, практических и лабораторных работ</b>	<b>Трудоемкость (часы)</b>	<b>Оценочные средства</b>	<b>Формируемые компетенции</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1.	II(1,3,4)	В компьютерном классе – обучение эксплуатации стандартной методики «Эколог» и расчеты зон воздушного загрязнения по реальным данным наблюдений параметров выбросов источниками промышленных предприятий	10	Оценка в баллах	ПК-18
2.	III(3)	В компьютерном классе – статистическая обработка данных наблюдений по загрязнению окружающей среды	4	Оценка в баллах	ПК-18
3.	V(1,3)	Постановка задач о распределении примесей от точечных и линейных ис-	4	Оценка в баллах	ПК-18



		точников			
4.	<b>VI(1,3)</b>	В компьютерном классе – обработка гидрометеорологической информации для получения климатических характеристик в качестве входной информации в авторские модели	8	Оценка в баллах	ПК-18
5.	<b>VII(1,3)</b>	В компьютерном классе – расчеты по авторским моделям зон опасного загрязнения окружающей среды высотными источниками	8	Оценка в баллах	ПК-18
6.	<b>VIII(3)</b>	В компьютерном классе – расчеты по авторским моделям зон опасного загрязнения окружающей среды стоками	8	Оценка в баллах	ПК-18
	<b>ИТОГО</b>		42		

**б) заочное обучение**

<b>№ п/п</b>	<b>№ раздела и (темы дисциплины)</b>	<b>Наименование семинаров, практических и лабораторных работ</b>	<b>Трудоемкость (часы)</b>	<b>Оценочные средства</b>	<b>Формируемые компетенции</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1.	<b>II(1,3,4)</b>	В компьютерном классе – обучение эксплуатации стандартной методики «Эколог» и расчеты зон воздушного загрязнения по реальным данным наблюдений параметров выбросов источниками промышленных предприятий	4	Оценка в баллах	ПК-18
2.	<b>III(3)</b>	В компьютерном классе – статистическая обработка данных наблюдений по загрязнению окружающей среды	4	Оценка в баллах	ПК-18
3.	<b>V(1,3)</b>	Постановка задач о распределении примесей от точечных и линейных источников	2	Оценка в баллах	ПК-18
4.	<b>VI(1,3)</b>	В компьютерном классе – обработка гидрометеорологической информации для получения климатических характеристик в качестве входной информа-	2	Оценка в баллах	ПК-18

5.	<b>VII(1,3)</b>	ции в авторские модели В компьютерном классе – расчеты по авторским моделям зон опасного загрязнения окружающей среды высотными источниками	2	Оценка в баллах	ПК-18
6.	<b>VIII(3)</b>	В компьютерном классе – расчеты по авторским моделям зон опасного загрязнения окружающей среды стоками	2	Оценка в баллах	ПК-18
<b>Итого</b>			16		

### 6.1 План самостоятельной работы студентов (включая контрольные работы)

#### а) очное обучение

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы и проверка задания	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1-2	<b>II(1)</b>	Краткий письменный обзор (2-3 с.) по возможностям стандартных методик, рекомендованных для расчета антропогенного загрязнения. Обзор на проверку преподавателю	[1,2-о], [3-д]	6
3-4	<b>II(2)</b>	Устное (внеаудиторное) усвоение возможностей моделей, их разновидностей. Беседа в аудитории	[1,2-о], [3-д]	4
5-6	<b>II(3)</b>	Устное (внеаудиторное) усвоение требований к точности задания входной информации. Беседа в аудитории	[1-д]	4
7-8	<b>II(4)</b>	Выполнение задания в виде домашней контрольной работы по расчету различных начальных и центральных моментов случайной величины с анализом полученных результатов и последующей проверкой преподавателем	[1,2-о]	4
9	<b>II(5)</b>	Устное усвоение. Есть ли необходимость в оценке статистических гипотез? Зачем этот раздел нужен или не нужен? Беседа в аудитории	[1-д]	4
10	<b>III(1)</b>	Самостоятельная подготовка: Разновидность методов решения системы алгебраических уравнений (их возможности и недостатки – решение 3-4 линейных уравнений по формулам Крамера и методом исключения Гаусса). Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя	[1,2-о], [4-д]	2
11-12	<b>III(2)</b>	Домашняя подготовка: преимущества и недостатки метода «сигмальных масштабов» и метода наименьших квадра-	[1,2-о], [4-д]	2

		тов. Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя		
13-14	<b>III(3)</b>	Самостоятельная подготовка: изобарические поверхности, геопотенциал, для чего необходимы данные наблюдений на различных изобарических поверхностях, политропная среда, уравнение статики. Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя	[4-д]	2
	<b>IV (1)</b>	Выполнение задания в виде домашней контрольной работы: рассеяние антропогенных примесей от высотных источников в зависимости от условий температурной стратификации атмосферы с последующей проверкой преподавателем	[1-д], [6-д]	2
2	<b>V(1)</b>	Домашняя работа с литературой и др. источниками с целью подбора материала по проблемам: необходимость перехода к средним величинам, свойства средних, как можно учесть в уравнениях спектр частиц. Предоставляется краткое эссе.	[7-д]	2
3	<b>V(2)</b>	Самостоятельное выполнение задания: ламинарное и турбулентное течения в зависимости от динамических и температурных параметров. Доклад студента и обсуждение	[7-д]	2
5	<b>VI(1)</b>	Зачем нужно изучать производные? Общность и отличия обыкновенных, частных, индивидуальных производных. Беседа со студентами по подготовленному им материалу.	[1,2-о], [3,4-о]	2
6	<b>VI(2)</b>	Для чего необходимы аналитические решения уравнений, положительные и отрицательные моменты? Беседа со студентами по подготовленному им материалу.	[2-о], [3,4-о]	2
7	<b>VII(1)</b>	Что такое климат? Возможности пересчета данных наблюдений на гидрометеорологических постах в полярной системе координат на данные в локальной декартовой системе координат. Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя	[2-о]	2
8	<b>VII (3)</b>	Работа с литературой о возможностях использования уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова. Краткое эссе.	[1,2-о]	2
9	<b>VIII(2)</b>	Беседа на заданную тему: суть численных методов, возможности, достоинства и недостатки	[1,2-о], [3,4-о]	2
10	<b>VIII(3)</b>	Домашняя самостоятельная: предло-	[1-о], [3-о]	2

		женные преподавателем уравнения в частных производных записать в виде конечно-разностной аппроксимации. Задание сдается на проверку преподавателю		
11	<b>VIII(4)</b>	Домашняя самостоятельная: предложенные преподавателем уравнения в частных производных записать в виде явной и неявной конечно-разностной аппроксимации. Задание сдается на проверку преподавателю	[1-о], [4-о], [7-д]	2
12	<b>VIII(5)</b>	Домашняя самостоятельная: предложенное преподавателем уравнение в частных производных записать в виде системы алгебраических уравнений для определенного числа узлов сетки. Задание сдается на проверку преподавателю	[1-о], [3,4-о], <b>Электронные журналы</b> (ежегодная подписка ИГУ): Геоинформатика, Известия РАН. Серия географическая, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Метеорология и гидрология. [7-д]	2
	<b>VIII(6)</b>	Продолжить предыдущее задание: полученную систему алгебраических уравнений представить записью «ленточной структуры». Задание сдается на проверку преподавателю	[1-о], [3,4-о], [7-д]	1
		Итого		51

**а) заочное обучение**

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы и проверка задания	Рекомендуемая литература	Кол-во часов
1-2	<b>II(1)</b>	Краткий письменный обзор (2-3 с.) по возможностям стандартных методик, рекомендованных для расчета антропогенного загрязнения. Обзор на проверку преподавателю	[1,2-о], [3-д]	8
3-4	<b>II(2)</b>	Устное (внеаудиторное) усвоение возможностей моделей, их разновидностей. Беседа в аудитории	[1,2-о], [3-д]	8
5-6	<b>II(3)</b>	Устное (внеаудиторное) усвоение требований к точности задания входной информации. Беседа в аудитории	[1-д]	8
7-8	<b>II(4)</b>	Выполнение задания по расчету раз-	[1,2-о]	8

		личных начальных и центральных моментов случайной величины с анализом полученных результатов и последующей проверкой преподавателем		
9	<b>II(5)</b>	Устное усвоение. Есть ли необходимость в оценке статистических гипотез? Зачем этот раздел нужен или не нужен? Беседа в аудитории	[1-д]	8
10	<b>III(1)</b>	Самостоятельная подготовка: Разнообразие методов решения системы алгебраических уравнений (их возможности и недостатки – решение 3-4 линейных уравнений по формулам Крамера и методом исключения Гаусса). Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя	[1,2-о], [4-д]	8
11-12	<b>III(2)</b>	Преимущества и недостатки метода «сигмальных масштабов» и метода наименьших квадратов	[1,2-о], [4-д]	8
13-14	<b>III(3)</b>	Самостоятельная подготовка: изобарические поверхности, геопотенциал, для чего необходимы данные наблюдений на различных изобарических поверхностях, политропная среда, уравнение статики	[4-д]	8
	<b>IV (1)</b>	Выполнение задания: рассеяние антропогенных примесей от высотных источников в зависимости от условий температурной стратификации атмосферы с последующей проверкой преподавателем	[1-д], [6-д]	8
2	<b>V(1)</b>	Домашняя работа с литературой и др. источниками с целью подбора материала по проблемам: необходимость перехода к средним величинам, свойства средних, как можно учесть в уравнениях спектр частиц. Предоставляется краткое эссе	[7-д]	8
3	<b>V(2)</b>	Самостоятельное выполнение задания: ламинарное и турбулентное течения в зависимости от динамических и температурных параметров	[7-д]	8
5	<b>VI(1)</b>	Зачем нужно изучать производные? Общность и отличия обыкновенных, частных, индивидуальных производных. Беседа со студентами по подготовленному им материалу	[1,2-о], [3,4-о]	8
6	<b>VI(2)</b>	Для чего необходимы аналитические решения уравнений, положительные и отрицательные моменты? Беседа со студентами по подготовленному им материалу	[2-о], [3,4-о]	8

7	<b>VII(1)</b>	Что такое климат? Возможности пересчета данных наблюдений на гидрометеорологических постах в полярной системе координат на данные в локальной декартовой системе координат. Собеседование ведет назначенный студент в присутствии преподавателя	[2-о]	8
8	<b>VII (3)</b>	Работа с литературой о возможностях использования уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова. Краткое эссе	[1,2-о]	8
9	<b>VIII(2)</b>	Суть численных методов, возможности, достоинства и недостатки	[1,2-о], [3,4-о]	5
10	<b>VIII(3)</b>	Предложенные преподавателем уравнения в частных производных записать в виде конечно-разностной аппроксимации. Задание сдается на проверку преподавателю	[1-о], [3-о]	5
11	<b>VIII(4)</b>	Предложенные преподавателем уравнения в частных производных записать в виде явной и неявной конечно-разностной аппроксимации	[1-о], [4-о], [7-д]	5
12	<b>VIII(5)</b>	Предложенное преподавателем уравнение в частных производных записать в виде системы алгебраических уравнений для определенного числа узлов сетки	[1-о], [3,4-о], <b>Электронные журналы</b> (ежегодная подписка ИГУ): Геоинформатика, Известия РАН. Серия географическая, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Метеорология и гидрология. [7-д]	5
	<b>VIII(6)</b>	Продолжить предыдущее задание: полученную систему алгебраических уравнений представить записью «точной структуры»	[1-о], [3,4-о], [7-д]	5
		Итого		145

*Пояснения.* В указанной литературе: о – основная, д – дополнительная.

*Для самостоятельной работы рекомендуется использовать также*

**Реферативные журналы:** Геофизика, Охрана природы и др.;

**Периодические научные статьи в журналах:** География и природные ресурсы, Оптика атмосферы и океана, География, Метеорология и гидрология, Известия Иркутского государственного университета (серия Науки о Земле) и др.

**Электронные журналы** (ежегодная подписка ИГУ): Геоинформатика, Известия РАН. Серия географическая, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Метеорология и гидрология.

## **6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

Для выполнения всех перечисленных самостоятельных работ студенту предоставляется возможность использования одного из трех компьютерных классов во внеучебное время (предварительная запись у дежурных в классе, все компьютеры подключены к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду университета), фондов стационарной библиотеки в 6-м корпусе и фундаментальной библиотеки ИГУ, читальных залов Институтов академии наук (согласно заключенным с ними Договорами), фондов библиотеки Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, индивидуальных консультаций с преподавателями факультета (согласно графику еженедельных консультаций).

**7. Примерная тематика курсовых проектов (работ) при наличии.** В учебном плане по данной дисциплине курсовая не числится. Однако студенты имеют право выбирать курсовую работу по любой дисциплине с продолжением ее тематики в дипломной работе. Такой подход на факультете приветствуется, когда студент имеет возможность совершенствовать свои знания в выбранном направлении посредством прохождения производственных практик, написания ряда отчетов, курсовых работ, подготовки научных докладов и подготовки выпускной работы.

- а) Моделирование пыления отвалов карьеров и золоотвалов ТЭЦ.
- б) Моделирование загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта.
- в) Моделирование загрязнения почв конкретного региона.
- г) Моделирование загрязнения атмосферного воздуха конкретного региона.
- д) Моделирование загрязнения растительности конкретной местности.
- е) Моделирование загрязнения особо охраняемых территорий.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

### **а) основная литература**

1. Аргучинцева, Алла Вячеславовна. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды [Текст] : учеб. пособие / А. В. Аргучинцева, В.К. Аргучинцев ; Иркутский гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2015. - 133 с.; 20 см. - Библиогр.: с. 110. - ISBN 978-5-9624-1260-3 (44 экз.)
2. Аргучинцева, Алла Вячеславовна. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений [Текст] : учеб. пособие / А. В. Аргучинцева ; Иркутский гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. - 106 с.; 20 см. - Библиогр.: с. 102-105. - ISBN 978-5-9624-0165-2 (44 экз.)
3. Аргучинцев, Валерий Куприянович. Математическое моделирование пространственного распределения загрязняющих веществ в атмосфере и гидросфере Монголии [Электронный ресурс] : научное издание / В. К. Аргучинцев. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотек". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-1093-7
4. Аргучинцев, Валерий Куприянович. Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева ; Иркутский гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. - 255 с. (2 экз.)

### **б) дополнительная литература**

1. Юдович, Виктор Иосифович. Математические модели естественных наук [Электронный ресурс] / В. И. Юдович. - Москва : Лань, 2011. - 335 с. : ил. ; 21 см. - (Учебники для вузов : специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 327-329. - ISBN 978-5-8114-1118-4
2. Наац, В. И. Математические модели и численные методы в задачах экологического мониторинга атмосферы [Текст] : [монография] / В. И. Наац, И. Э. Наац. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 330 с. ; нет. - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-1160-7
3. Аргучинцев, Валерий Куприянович. Модели и методы для решения задач охраны атмосферы, гидросферы и подстилающей поверхности [Текст] / В.К. Аргучинцев, А.В. Аргучинцева ; ИГУ. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2001. - 114 с. (1 экз.)

4. Аргучинцева, Алла Вячеславовна. Численный анализ гидрометеорологической информации [Текст] : учеб. пособие / А.В. Аргучинцева ; Гос.комитет РФ по высш.обр.; ИГУ. - Иркутск : ИГУ, 1995. - 65 с. (1 экз.)
5. Пузаченко, Юрий Георгиевич. Математические методы в экологических и географических исследованиях [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по геогр. и эколог. спец. / Ю.Г. Пузаченко. - М. : Академия, 2004. - 409 с. : ил., табл. ; 22 см. - (Высшее профессиональное образование: естественные науки). - Библиогр.: с. 400-406. - ISBN 5-7695-1348-9 (1 экз.)
6. Бызова, Наталья Леонтьевна. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси [Текст] : научное издание / Н. Л. Бызова, Е. К. Гаргер, В. Н. Иванов. - Л. : Гидрометеоиздат, 1991. - 277 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 258-272 - Предм. указ.: с. 273-276. - ISBN 5-286-00634-5 (3 экз.)
7. Марчук, Гурий Иванович. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] : научное издание / Г. И. Марчук. - М. : Наука, 1982. - 319 с. (3 экз.)

#### **в) программное обеспечение**

Пакеты прикладных программ: Microsoft Excel, Golden Software Surfer 7, CorelDRAW Graphics Suite 12 и др.

Пакеты авторских программ по расчетам загрязнений окружающей среды от антропогенных источников (атмосфера, вода, воздух)

Пакеты программ УПРЗА «Эколог», версия 3.0, вариант «Базовый» для расчета загрязнения атмосферного воздуха от антропогенных источников

Программа ПДС-Эколог, версия 2.1(W)

Программа Эколог-Pollution

#### **г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы**

Интернет-источники: : <https://isu.bibliotech.ru/>

<http://ibooks.ru>, : <http://elibrary.ru/>, <http://search.ebscohost.com>, : <http://www2.viniti.ru>

[lake.baikal.ru](http://lake.baikal.ru), [www//isu6/library/index.htm](http://www//isu6/library/index.htm)

<http://www.nature.com>

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

Интернет-источники: [lake.baikal.ru](http://lake.baikal.ru), [www//isu6/library/index.htm](http://www//isu6/library/index.htm), электронная библиотека в компьютерных классах по паролю студента, электронная библиотека на кафедре.

Оборудование – три компьютерных класса на 33 посадочных мест, датчик влажности почвы, датчик температуры почвы, хемилюминесцентный газоанализатор диоксида серы в атмосферном воздухе С-310А, хемилюминесцентный газоанализатор оксида углерода в атмосферном воздухе К-100, хемилюминесцентный газоанализатор аммиака, оксида азота и диоксида азота в атмосферном воздухе Р-310А, GPS-навигатор Garmin Dakota 20 ТОПО.

Материалы – программы обработки массивов данных: Stadia, Statgraf, Excel, Surfer, программа «Эколог», авторские программы.

### **10. Образовательные технологии**

Часть лекционных занятий сопровождается мультимедийными презентациями.

Проводятся численные эксперименты на персональных компьютерах.

Предусмотрены встречи с представителями российской структур по данному направлению подготовки (по договоренности), а также специалистами из-за рубежа.

Интерактивные занятия вида «студент-студент», студент-преподаватель-студент, групповое обсуждение приведены в пункте 6.1.

### **11. Оценочные средства (ОС)**



В конце каждой лекции студентам задается самостоятельное задание, выполнение которого в письменном виде предоставляется студентом для проверки к началу следующей лекции (через неделю).

Цель самостоятельного задания.

а) вспомнить материал, который студенты проходили ранее в курсах других дисциплин и являющийся необходимым для продолжения курса лекций «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды». Это вопросы - из математики, физики, метеорологии, гидрологии, климатологии и пр. В результате студенты на лекцию приходят подготовленными к восприятию нового материала;

б) Изучить один из предлагаемых разделов дисциплины самостоятельно. При недостаточном освещении – студенту возвращается задание на доработку с последующим собеседованием для выявления степени усвоения.

в) В начале каждой лекции проводится экспресс-опрос по пройденному материалу. Опрос затрагивает всех студентов без исключения. Заранее подготовленная схема позволяет экспресс-опрос проводить в течение не более 15 мин.

г) Для закрепления теоретического материала в компьютерном классе студенты в каждом семестре выполняют по одной контрольной работе.

Результаты самостоятельных работ и экспресс-опроса фиксируются в журнале преподавателя и в электронном виде, что является основанием для отслеживания успеваемости студентов.

Положительное выполнение пунктов а) - г) – необходимое условие для зачета в 7-м семестре и допуска к экзамену в 8-м семестре.

#### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

- **Демонстрационные варианты:**

а) **контрольная работа №1, выполняемая в компьютерном классе по дисциплине «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды»**

Удельные показатели выбросов вредных веществ в атмосферу от объектов энергетики в городах Иркутской области, кг/т

Пыль неорганическая (z)	SO <sub>2</sub> (x)	NO <sub>x</sub> (y)
20,4	16,8	4,7
13,9	9,4	8,0
29,3	10,2	5,3
26,3	4,4	2,6
5,0	5,7	1,6
109,2	24,4	4,1
23,8	13,1	1,6
18,2	11,4	4,3
12,2	4,6	0,8
8,2	12,9	3,9
21,5	12,5	4,6
25,2	4,3	2,5
41,2	11,1	1,7
9,5	14,3	1,7
17,9	5,6	3,2
9,6	11,8	4,7
165,0	18,6	1,7
6,1	4,1	2,2
70,5	23,2	5,1

13,9	10,3	1,8
7,7	0,7	0,1
42,9	22,3	1,2
45,1	19,1	3,0
4,6	17,9	10,7
5,7	1,5	0,3
4,3	6,1	0,5
17,1	28,6	10,7
28,3	5,8	16,7
6,7	6,7	20,0
15,6	44,4	15,6
20,1	4,3	10,1
4,0	2,1	5,2

Найти:

1. Характеристики положения для  $z$  - среднее значение  $z$ ,
  2. Характеристики разброса для  $z$  - разброс, дисперсию, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрию, эксцесс.
- По полученным результатам сделать выводы о поведении рассматриваемой характеристики.
3. Найти парные коэффициенты корреляции между  $z$  и  $x$ ;  $z$  и  $y$ ,  $x$  и  $y$ . Проанализируйте их и сделайте выводы.
  3. Найти уравнения регрессии  $z = ax + b$  и  $z = ax^b$ . Построить графики. Выявите лучшую аппроксимацию.
  4. Найти множественный коэффициент корреляции и построить множественное линейное уравнение регрессии  $z = a_0 + a_1x + a_2y$ .

#### Рекомендации.

Контрольную работу необходимо выполнять на ПК с использованием любого из пакетов прикладных программ со встроенными математическими функциями, например Microsoft Excel.

Для лучшего понимания и усвоения выполняемой работы рекомендуется те же вычисления выполнить путем прямого набора формул.

Для отчета по работе необходимо все используемые формулы и полученные результаты набрать в текстовом редакторе.

Расчитанные характеристики необходимо проанализировать и сделать выводы о поведении рядов случайных наблюдений.

**б) контрольная работа №2, выполняемая в компьютерном классе по дисциплине «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды»**

Распределение примеси описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q = f + \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial q}{\partial z},$$

где  $q$  - концентрация примеси, мг/м<sup>3</sup>;  $t$  - время, с;  $u, v, w$  - компоненты скорости среды, в которой распространяется примесь, соответственно по осям декартовой прямоугольной системы координат  $x, y, z$ , м/с;  $w_g$  - скорость осаждения примеси на подстилающую поверхность, м/с;  $\alpha$  - коэффициент распада примеси, 1/с;  $f$  - источник примеси, мг/(м<sup>3</sup> с);  $K_x, K_y, K_z$  - коэффициенты турбулентной диффузии по соответствующим осям, м<sup>2</sup>/с.

**Задания.**

1. Задачу распространения примеси рассмотреть при следующих условиях:

- 1) процесс стационарен,
- 2) примесь консервативна и пассивна,
- 3) примесь легкая,
- 4) горизонтальные и вертикальные коэффициенты турбулентной диффузии постоянны,
- 5) источник примеси задан в виде функции Дирака.
- 6) описать только перенос примеси,
- 7) описать только диффузию примеси,
- 8) описать двумерное нестационарное распределение примеси

Для каждого из пунктов 1-8 записать соответствующее дифференциальное уравнение.

2. Для упрощенного записанного уравнения

$$u \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial q}{\partial z}$$

найденно аналитическое решение для концентрации примеси  $q$  при граничных условиях:

при  $x = 0$ ,  $uq = M\delta(x)\delta(y)\delta(z)$ ,

$|x| \rightarrow \infty, |y| \rightarrow \infty, z \rightarrow \infty \quad q = 0$ ,

$z = 0 \quad K_z \frac{\partial q}{\partial z} = 0$

$$q = \frac{M}{4\pi(K_y K_z x^2 + K_x K_z y^2 + K_y K_x z^2)^{1/2}},$$

где  $M$  – интенсивность источника, выбрасывающего примесь, мг/с

При  $M = 10^6$  мг/с,  $K_x = K_y = K = 10^5$  м<sup>2</sup>/с,  $K_z = 5$  м<sup>2</sup>/с

на сетке 10x10 с шагом  $d = 2$  км рассчитать концентрацию примеси по записанному аналитическому решению.

3. Полученный результат изобразить графически по встроенному редактору Golden Software Surfer 7.

4. Сделать полный отчет по проделанной работе.

5. По данным преподавателя об источниках выбросов промышленными предприятиями определенного промышленного центра выполнить расчеты по программе «Эколог», результаты оформить в виде карт-схем загрязнения окружающей среды определенным ингредиентом.

- **Вопросы для собеседования и коллоквиумов** приведены в пункте 6.1.
- **Темы курсовых работ** приведены в пункте 7.
- **Требования к зачету и экзамену**

По каждой дисциплине направления преподаватель разрабатывает собственную шкалу оценок. Обучающийся получает зачет по дисциплине, если в течение семестра он набирает не менее 60 баллов. По указанной дисциплине применяется следующая шкала

Баллы, полученные обучающимися по дисциплине в течение семестра	Академическая оценка	
65-75 баллов	удовлетворительно	зачтено

76-85 баллов	хорошо	
86-100 баллов	отлично	

Если количество баллов, которое наберет обучающийся в течение семестра, будет недостаточным для получения им положительной академической оценки по дисциплине, преподаватель вправе потребовать от обучающегося выполнения дополнительных заданий для получения большего количества баллов. Решение о возможности и форме выполнения обучающимся дополнительных заданий для получения большего количества баллов принимается преподавателем.

Допуск к экзамену обучающийся получает в том случае, если за работу в течение семестра он набирает не менее 50 баллов. Для автоматической оценки «удовлетворительно» обучающемуся необходимо набрать минимум 65 баллов в каждом из семестров. При активном участии обучающегося в научной работе (тезисы, статьи, выступления на конференциях) преподаватель может добавить бонусные баллы.

Если студент выполнил все задания удовлетворительно и не имеет пропусков занятий (набрав не менее 65 баллов), то зачет ставится автоматически.

Если студент имеет какие-либо «долги», то он может их погасить в отведенное время (расписание консультаций – на доске объявлений, в деканате и на кафедре).

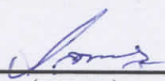
• **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Законы распределения дискретных величин (ряд или таблица, многоугольник, полигон, гистограмма). Интегральная функция распределения и ее свойства.
2. Интегральный и дифференциальный законы распределения случайных величин и их свойства. Функция обеспеченности. Привести примеры.
3. Замечательная функция Дирака и возможности ее использования.
4. Характеристики положения случайных величин: математическое ожидание и его свойства, среднее арифметическое, мода, медиана.
5. Характеристики разброса случайных величин: размах, среднее абсолютное отклонение, дисперсия и ее свойства, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс. Проиллюстрировать на примерах.
6. Нормальный закон распределения. Исследование поведения нормальной кривой распределения.
7. Коэффициент корреляции и его свойства. Уравнение регрессии в сигмальном масштабе для функции одной переменной.
8. Уравнение регрессии в сигмальном масштабе для функции двух переменных.
9. Уравнение регрессии в сигмальном масштабе для функции  $N$  переменных.
10. Множественный коэффициент линейной корреляции. Смысл коэффициентов, входящих в формулу его определения
11. Систематические и случайные ошибки. Требования к оценкам: состоятельность, несмещенность, эффективность. Каким требованиям отвечают оценки для дисперсии?
12. Метод наименьших квадратов. Вывод нормальной системы уравнений для линейной зависимости (вывод).
13. Метод наименьших квадратов. Вывод нормальной системы уравнений для степенной зависимости (вывод).
14. Множественное линейное уравнение регрессии (вывод).
15. Уравнение переноса сохраняющейся примеси в недивергентном и дивергентном видах. Его решение.
16. Уравнение переноса распадающейся примеси. Возможности получения его аналитического решения.
17. Уравнение переноса распадающейся и поступающей примеси. Возможности получения его аналитического решения.
18. Усредненное по Рейнольдсу уравнение переноса и турбулентной диффузии примеси.

19. Возможности получения аналитических решений. Их недостатки и положительные стороны.
  20. Начальные и граничные условия. Типы краевых задач. Корректность постановки задач.
  21. Конечно-разностная аппроксимация производных. Аппроксимация «вперед» первых производных методом Тейлора (вывод).
  22. Конечно-разностная аппроксимация производных. Аппроксимация «назад» первых производных методом Тейлора (вывод).
  23. Конечно-разностная аппроксимация производных. Аппроксимация «центральными разностями» первых производных методом Тейлора (вывод).
  24. Конечно-разностная аппроксимация производных. Аппроксимация вторых производных методом Тейлора (вывод).
  25. Конечно-разностная аппроксимация производных. Полиномиальная аппроксимация (вывод).
  26. Явные и неявные конечно-разностные схемы.
- Задачи.

**Дополнительные вопросы:** консервативная и пассивная примесь, зависимость распространения примеси от условий температурной стратификации среды, начальный подъем факела и возможности учета его высоты (эффективная высота), методы монотонной и немонотонной прогонки, жидкости сжимаемые и несжимаемые, дивергенция, уравнение неразрывности в общем виде, уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости, уравнение неразрывности для безвихревого движения несжимаемой жидкости. Конечно-разностная аппроксимация перечисленных дифференциальных уравнений (запись).

**Разработчик:**

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Зав. каф. гидрологии и природопользования  
\_\_\_\_\_  
(занимаемая должность)

А.В. Аргучинцева  
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры гидрологии и природопользования

«08» апреля 2019 г. Протокол № 10

Зав. кафедрой  Аргучинцева А.В.

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2020/2021 учебный год**

В связи с изменениями в учебном плане на 2020-2021 учебный год по программе бакалавриата направления 05.03.06 «Экология и природопользование» (профиль «Природопользование»), в рабочую программу дисциплины «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды» внесены следующие изменения:

- код дисциплины изменен на Б1.В.16.

Исходя из этого, по тексту рабочей программы читать код и наименовании дисциплины в следующей редакции: Б1.В.16 «Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды».

Изменения одобрены на заседании УМК географического факультета  
Протокол № 10 от 15 мая 2020 г.

Председатель



С.Ж. Вологжина