

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»  
(КарНЦ РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор КарНЦ РАН  
член-корр. РАН

О.Н. Бахмет



*августа* 20 22 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ В ГИДРОБИОЛОГИИ»**

**НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
1.5.16. ГИДРОБИОЛОГИЯ**

г. Петрозаводск  
2022

### **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Целью изучения дисциплины является формирование у аспирантов представления о принципах количественной гидробиологии, методах количественной оценки состояния водных экосистем, их классификации, современных методах статистического анализа гидробиологических данных, использовании математического моделирования для решения задач гидробиологии.

Изучение дисциплины предполагает выполнение следующих задач:

- сформировать у аспирантов представление о принципах количественной гидробиологии и теоретических основах оценки состояния водных экосистем и их классификации;
- ознакомить аспирантов с методами количественной оценки состояния водных экосистем;
- сформировать у аспирантов представление о современных возможностях использования статистических методов в гидробиологии;
- обозначить теоретические основы работы с экспериментальными данными, осветить современную методологию статистической обработки;
- ознакомить аспирантов с современными программными и техническими средствами обработки экспериментальных данных для применения полученных знаний в научно-исследовательской и практической деятельности;
- сформировать у обучающегося практические навыки владения методами статистической обработки данных.

### **2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы**

Дисциплина относится к базовым дисциплинам и является обязательной для изучения. Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке и написании диссертации по научной специальности 1.5.16. Гидробиология.

### **3. Требования к уровню подготовки аспиранта по результатам освоения дисциплины**

В результате освоения программы данной дисциплины у обучающегося формируются следующие компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;
- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием

современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;

- способность самостоятельно ставить и решать конкретные задачи научных исследований в области биологических наук (в соответствии с направленностью программы) с учетом последних достижений современной фундаментальной и прикладной биологии с использованием современных методов исследования и информационных технологий, представлять полученные результаты на научных конференциях и публиковать результаты научных исследований в ведущих отечественных и зарубежных профильных журналах;

- способность адаптировать и обобщать результаты современных исследований в области биологических наук (в соответствии с направленностью программы) для целей преподавания биологических дисциплин в высших учебных.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен:

Знать:

- теоретические основы и методологию статистической обработки данных в экологии водных экосистем;

- основные подходы при количественной оценке состояния водных экосистем и их классификации;

- принципы системного подхода к упорядочению и логической организации данных и представлению информации в виде статистических моделей;

- основы методов анализа данных;

Уметь:

- применять принципы количественной экологии к исследованию водной экологической системы, экологического явления или процесса;

- уметь работать в специализированных программах для обработки и анализа экспериментальных данных;

- предложить соответствующий способ представления и статистической обработки данных при решении задач гидробиологии;

Владеть:

- владеть навыками количественного анализа экологических явлений в водных экосистемах;

- приемами статистической обработки и анализа данных репрезентативной выборки;

- методами анализа данных сформированных во временные ряды;

- необходимыми теоретическими знаниями о распределениях и практическими навыками использования прикладного программного обеспечения, предназначенного для реализации методов анализа данных

- специальными терминами и понятиями;

- современными методами поиска и сбора необходимой информации;

- навыками ведения научной дискуссии.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Период освоения – 3-4- семестры.

№	Модуль Раздел Тема	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля
		Лекции	Практические/ Лабораторные занятия	Семинары	Самостоятельн ая работа	
1.	Принципы количественной гидробиологии. Методы сбора данных и их статистического оценивания	12	8	4	16	Собеседовани е
2.	Гидробиологические данные и расчетные индексы состояния водных экосистем	14	0	10	40	Собеседовани е
3.	Методы классификации водных экосистем и анализа их состояния	14	10	0	0	Собеседовани е
4.	Математические модели в гидробиологии	4	0	2	8	Собеседовани е
5.	Подготовка реферата	0	0	2	36	Устный доклад
<b>Форма промежуточной аттестации</b>						зачет
<b>Итого (в часах)</b>		44	18	18	100	180

#### 5. Структура и содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание лекционных занятий:

№ п/п	Наименование тем лекционных занятий и их содержание	Кол-во час.
Принципы количественной гидробиологии. Методы сбора данных и их статистического оценивания		
1.	Современные экологические проблемы и основы охраны гидросферы. Гидробиология как научная основа гидробиологического мониторинга.	2
2.	Методология и методы гидробиологии. Основные методы применяемые в гидробиологии. Достоинства и недостатки их. Типы загрязнения и их последствия: механическое, химическое загрязнения вод, загрязнение радиоактивными веществами, тепловое загрязнение, биологическое и т.д. Эвтрофирование водоемов: понятие, причины, последствия для водоема.	2
3.	Основы методологии количественного анализа. Количественное представление экологических явлений в водных объектах и их	2

	статистическое описание.	
4.	Типы распределений и их экологический смысл. Проверка типа распределения. Методы статистического оценивания экологических данных. Показатели, индексы и шкалы их измерения.	2
5.	Требования к методам сбора гидробиологических данных. Планирование сбора данных при проведении полевых исследований. Определение объема выборки. Повторность. Точность измерений.	2
6.	Требования к методам сбора гидробиологических данных. Планирование экспериментов для тестирования гипотез. Экспериментальная единица, повторность, выборка. Проблема мнимых повторностей. Критерии оптимальности эксперимента. Оптимальное планирование факторных экспериментов.	2
Гидробиологические данные и расчетные индексы состояния водных экосистем		
7.	Оценка качества экосистемы по индексам видового разнообразия. Общий подход к оценке биологического разнообразия. Гипотезы, используемые для оценки биоразнообразия. Индексы, основанные на формуле дисперсии. Индексы, основанные на формуле энтропии. Другие методы и формулы оценки выравненности сообществ. Сравнительный анализ индексов разнообразия.	2
8.	Оценка качества экосистемы по соотношению показателей обилия. Индексы, использующие абсолютные показатели обилия. Индексы, использующие характер питания организмов. Индексы, использующие соотношение крупных таксонов.	2
9.	Оценка продукционно-деструкционных показателей водоема. Виды продукции. Первичная продукция. Вторичная продукция. Способы расчет суточной и сезонной продукции.	2
10.	Комбинированная оценка качества воды с использованием гидрохимических и гидробиологических показателей. Система классификации качества воды по А.А. Былинкиной и С.М. Драчеву. Оценка состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов по ГОСТ 17.1.2.04–77. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. Классификация экосистем по уровням токсической загрязненности (УТЗ).	2
11.	Классификация водоемов и биоценозов по сапробности. Показатели сапробности и методы их идентификации. Оценка зон сапробности по показательным организмам. Графо-аналитический метод Г. Кнеппе. Система координат С. Головина. Индекс сапробности по Р. Пантле и Г. Букку. Модификация расчета индекса сапробности М. Зелинкой и П. Марваном. Модификация индекса сапробности по Дж. Ротшейну. Индекс сапроботоксности по В.А. Яковлеву. Модификация индекса сапробности по М.В. Чертопруду.	2
12.	Оценка качества экосистемы по соотношению количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению. Интегральные	2

	критерии: оценка качества экосистем по нескольким показателям	
13.	Оценка видового сходства биоценозов. Типы мер сходства. Меры ассоциации. Коэффициенты связи. Меры расстояния.	2
Методы классификации водных экосистем и анализа их состояния		
14.	Постановка задачи классификации. Теоретические основы классификации экосистем. Данные, используемые для классификации: их размерность, шкала измерения, законы распределения.	2
15.	Нормирование данных, предпосылки и цели. Ограничения методов при классификации дихотомических данных, способы решения проблемы. Сравнение методов иерархической классификации. Предварительная обработка наблюдений.	2
16.	Задачи о разбиении на группы. Параметрическая классификация, метод максимального правдоподобия. Дискриминантный анализ. Дискриминантный анализ как одна из задач распознавания образов в экологии. Байесовское правило. Расстояние Махаланобиса.	2
17.	Задачи о разбиении на группы. Непараметрическая классификация при наличии обучающих выборок. Кластерный анализ. Классификация методов кластерного анализа. Кластерный анализ наблюдений. Кластерный анализ переменных. Иерархическая кластеризация. Дендрограммы: интерпретация и выявление естественного разбиения на классы. Диаграмма Чекановского. Дендрограмма кластерного анализа. Проблема выбора расстояния (меры различия). Обзор мер различия применяемых в различных задачах гидробиологии.	2
18.	Задачи о снижении размерности многомерного пространства. Метод главных компонент. Предположения, лежащие в основе факторного анализа и метода главных компонент. Факторный анализ. Методы выделения факторов. Поиск скрытых факторов, лежащих в основе наблюдаемых данных. Примеры применения в гидробиологии.	2
19.	Регрессионный и корреляционный анализы. Модель регрессионного анализа. Проблемы выбора модели регрессионного анализа и интерпретации параметров регрессии в задачах экологии. Простая и множественная регрессия. Примеры применения регрессионного анализа в задачах экологии. Множественный и частный коэффициенты корреляции. Коэффициент детерминации. Пошаговый регрессионный анализ. Включение и исключение независимых переменных в модели регрессионного анализа. Нелинейный регрессионный анализ. Логистическая регрессия.	2
20.	Однофакторный дисперсионный анализ: модель с постоянными уровнями фактора; модель со случайными уровнями фактора. Методы множественного сравнения: анализ контрастов; планируемые и непланируемые сравнения. Двухфакторный дисперсионный анализ. Непараметрические методы анализа связи между количественной и качественными переменными:	2

	критерии Крускала-Уоллиса и Брауна- Муда для однофакторного анализа; критерии Фридмана и Пейджа для двухфакторного анализа. Непараметрические методы множественного сравнения. Многомерный дисперсионный анализ.	
Математические модели в гидробиологии		
21.	Методы математического моделирования экологических систем. Экосистема как объект математического моделирования. Информационное описание экосистем: показатели, "индексы" и шкалы их измерения.	2
22.	Математические модели в гидробиологии. Аналитические и имитационные модели. Оценка качества водных экосистем по многомерным эмпирическим данным и эмпирико-статистические модели. Масс-балансовая модель потоков вещества и энергии в озерных экосистемах (Hakanson, Boulion, 2002): возможности и ограничения.	2

#### 5.2.Содержание практических/ лабораторных занятий:

№ п/п	Наименование тем практических/лабораторных занятий и их содержание	Кол-во час.
1.	Знакомство с программой STATISTICA. Основные принципы записи информации для электронных таблиц, статистических пакетов и баз данных. Подготовка данных для работы в пакете статистических программ STATISTICA. Импорт и экспорт данных; преобразование данных средствами пакета статистических программ STATISTICA.	2
2.	Графическое представление результатов анализа экологической информации в статистике. Статистические графики (гистограммы, матричные, категоризованные) и диаграммы. Гистограмма, совмещенная с кривой. Диаграммы размахов, или "ящички с усами". Круговые и столбиковые диаграммы. Категоризованные графики.	2
3.	Типы распределений признаков. Учет характера распределения признака при выборе метода статистического оценивания.	2
4.	Методы анализа распределения численности видов. Методы описания динамики численности видов.	2
5.	Работа в модуле Дисперсионный анализ пакета статистических программ STATISTICA. Примеры применения дисперсионного анализа в задачах гидробиологии.	2
6.	Методы изучения зависимости признака от фактора (регрессионный и корреляционный анализ). Множественная регрессия, Множественная нелинейная регрессия пакета статистических программ STATISTICA. Примеры применения регрессионного анализа в задачах гидробиологии.	2
7.	Методы анализа многомерных экологических данных. Метод главных компонент. Работа в модуле Факторный анализ пакета статистических программ STATISTICA. Примеры применения метода главных компонент в задачах гидробиологии.	2
8.	Методы классификации экосистем. Кластерный анализ пакета	2

	статистических программ STATISTICA. Примеры применения в задачах гидробиологии.	
9.	Методы классификации экосистем. Работа в модуле Дискриминантный анализ пакета статистических программ STATISTICA. Примеры применения дискриминантного и кластерного анализа в задачах гидробиологии.	2

### 5.3.Содержание семинарских занятий:

№ п/п	Наименование тем семинарских занятий и их содержание	Кол-во час.
1.	Требования к методам сбора гидробиологических данных. Планирование сбора данных при проведении полевых исследований. Определение объема выборки. Повторность. Точность измерений. Планирование экспериментов для тестирования гипотез. Экспериментальная единица, повторность, выборка. Проблема мнимых повторностей. Критерии оптимальности эксперимента. Оптимальное планирование факторных экспериментов.	2
2.	Методы токсикометрии. Среднесмертельная концентрация ядов (CL50) как основной параметр их токсичности. Классификация ядов по величине CL50. Понятие "резистентность организмов". Концентрация, доза, время, эффект. Статистическое описание резистентности. Средняя смертельная концентрация (CL50) и ее ошибка. Определение показателей резистентности по кривой зависимости "доза-эффект". Регрессионный анализ кривой летальности. Пробит-анализ кривых летальности. Табличный метод оценки CL50) и ее ошибки.	2
3.	Оценка состояния водной экосистемы по показателям зоопланктона. Видовое разнообразие. Количественные показатели структуры, динамики, функционирования и их экологическое значение. Эмпирико-статистическая модель динамики (на примере Онежского озера).	2
4	Оценка состояния водной экосистемы по показателям фитопланктона. Видовое разнообразие. Структурные индексы. Оценка содержания хлорофилла, как показатель экологического состояния. Оценка первичной продукции.	2
5.	Оценка состояния водной экосистемы по показателям макрозообентоса. Видовое разнообразие. Количественные показатели структуры, динамики, функционирования и их экологическое значение.	2
6.	Оценка состояния водной экосистемы по микробиологическим показателям. Эколого-трофические группы. Оценка первичной продукции. Санитарно-микробиологические показатели и индексы в оценке качества воды.	2
7.	Оценка состояния водной экосистемы по морфометрическим (размерно-весовые характеристики) и физиологическим показателям (коэффициент упитанности, подходы к количественной оценке морфофункциональных изменений) рыб.	2



8.	Математические модели в гидробиологии. Модели, используемые для описания водных экосистем.	2
9.	Рассмотрение и обсуждение подготовленного аспирантом в рамках самостоятельной работы реферата.	2

## 5.4. Самостоятельная работа аспирантов

№ п/п	Самостоятельная работа аспирантов	Кол-во час.
1.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Требования к методам сбора гидробиологических данных. Планирование сбора данных при проведении полевых исследований. Определение объема выборки. Повторность. Точность измерений. Планирование экспериментов для тестирования гипотез. Экспериментальная единица, повторность, выборка. Проблема мнимых повторностей. Критерии оптимальности эксперимента. Оптимальное планирование факторных экспериментов.	8
2.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Методы токсикометрии. Среднесмертельная концентрация ядов (CL50) как основной параметр их токсичности. Классификация ядов по величине CL50. Понятие "резистентность организмов". Концентрация, доза, время, эффект. Статистическое описание резистентности. Средняя смертельная концентрация (CL50) и ее ошибка. Определение показателей резистентности по кривой зависимости "доза-эффект". Регрессионный анализ кривой летальности. Пробит-анализ кривых летальности. Табличный метод оценки CL50) и ее ошибки.	8
3.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Оценка состояния водной экосистемы по показателям зоопланктона. Видовое разнообразие. Количественные показатели структуры, динамики, функционирования и их экологическое значение. Эмпирико-статистические модель динамики (на примере Онежского озера).	8
4	Подбор литературы и подготовка к семинару: Оценка состояния водной экосистемы по показателям фитопланктона. Видовое разнообразие. Структурные индексы. Оценка содержания хлорофилла, как показатель экологического состояния. Оценка первичной продукции.	8
5.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Оценка состояния водной экосистемы по показателям макрозообентоса. Видовое разнообразие. Количественные показатели структуры, динамики, функционирования и их экологическое значение.	8
6.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Оценка состояния водной экосистемы по микробиологическим показателям. Эколого-трофические группы. Оценка первичной продукции. Санитарно-микробиологические показатели и индексы в оценке качества воды.	8
7.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Оценка состояния водной экосистемы по показателям морфометрическим	8

	(размерно-весовые характеристики) физиологическим показателям (коэффициент упитанности, количественная оценка морфофункциональных изменений).	
8.	Подбор литературы и подготовка к семинару: Математические модели в гидробиологии. Модели, используемые для описания водных экосистем.	8

### 6. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме собеседований и подготовки обучающимися реферата по одному из разделов дисциплины. Форма промежуточной аттестации: зачет.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### Основная литература:

1. Вараксин А.Н. Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине. – Екатеринбург: Голицкий, 2006. – 255 с. (Эл каталог)
2. Ивантер Э. В. Коросов А.В. Введение в количественную биологию: учебное пособие для студентов биологических специальностей. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2014. – 298 с. (Эл каталог)
3. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. – 304 с.
4. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия: учебное пособие. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2010. – 104 с. (Эл каталог)
5. Коросов А.В. Специальные методы биометрии. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 364 с. (+ Эл каталог)
6. Коросов А.В., Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных: методическое пособие. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2007. – 76 с. (Эл каталог)
7. Коросов А.В. Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных: методическое пособие. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2010. – 84 с. (Эл каталог)
8. Меншуткин В.В. Искусство моделирования. – Петрозаводск-Санкт-Петербург, 2010. – 419 с.
9. Наац В.И., Наац И.Э. Математические модели и численные методы в задачах экологического мониторинга атмосферы. – Москва: Физматлит, 2010. – 327 с. (Эл каталог)
10. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.
11. Шаратов Н.М. Интегральный показатель экологического состояния водосбора и водного объекта. – Чита: РИО ЗабГУ, 2011. – 116 с. (Эл каталог)
12. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – М.: Наука, 2005. Кн. 1. – 281 с.
13. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – М.: Наука, 2005. Кн. 2. – 337 с.
14. Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С. Изобилический метод оценки нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. – СПб.: МАНЭБ, 2004. – 304 с.

**Дополнительная литература:**

1. Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем. Учебное пособие. – СПб., 2007. – 364 С.
2. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. –М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.
3. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: Методическое руководство. Часть 1. Полевые исследования / под ред. Т.И. Моисеенко. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2011. – 128 с.
4. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: Методическое руководство. Часть 2. Камеральные работы / под ред. Т.И. Моисеенко. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2012. – 304 с.
5. Коросов А.В. Имитационное моделирование в среде MS Excel (на примерах из экологии). – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. – 212 с.
6. Математические методы в экологии: сб. задач и упражнений / сост.: Семенова Е.Е., Кудрявцева Е.В. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2005. – 128 с. (Эл каталог)
7. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем / Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, РАН, Ин-т глобального климата и экологии; Т. 19. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 293 с. (Эл каталог)
8. Теоретические вопросы классификации озер. – СПб.: Наука, 1993. – 192 с.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

КарНЦ РАН располагает хорошей материальной базой для преподавания данной дисциплины. Лекции и семинары проводятся в аудитории, оборудованной необходимой демонстрационной техникой (проектор). Практические занятия проводятся в аудитории, оснащенной компьютером с лицензионным программным обеспечением (STATISTICA 10 RU, Microsoft Excel Office).