

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИБ КарНЦ РАН)



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИБ КарНЦ РАН

член-корр. РАН

 Н.Н. Немова

«18» сентября 2014 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Экологическая биохимия»

для обучающихся по Основной образовательной программе высшего образования –  
программе подготовки кадров высшей квалификации по направлению  
06.06.01 Биологические науки, направленность «Биохимия»

Принято Ученым советом ИБ КарНЦ РАН 18.09.2014 г. протокол № 5.

Рабочая программа по дисциплине «**Экологическая биохимия**» разработана в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного Приказом Минобрнауки РФ от 30 июля 2014 г. № 871 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации)». Принята на Ученом совете ИБ КарНЦ РАН 18.09.2014 г. протокол № 5.

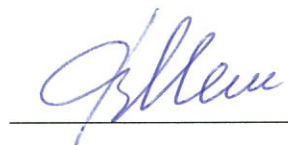
Разработчики программы:

Директор ИБ КарНЦ РАН,  
главный научный сотрудник  
лаборатории экологической  
биохимии ИБ КарНЦ РАН  
чл.-корр. РАН, профессор, д.б.н.



Н.Н. Немова

Заместитель директора по научной  
работе ИБ КарНЦ РАН,  
руководитель Отдела аспирантуры,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории экологической биохимии  
ИБ КарНЦ РАН  
к.б.н.



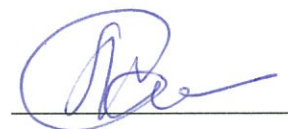
О.В. Мещерякова

Главный научный сотрудник  
лаборатории экологической  
биохимии ИБ КарНЦ РАН  
профессор, д.б.н.



Р.У. Высоцкая

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории экологической  
биохимии ИБ КарНЦ РАН  
д.б.н., с.н.с.



Л.П. Смирнов

## Пояснительная записка

Одно из важнейших теоретических и практических направлений, сформировавшееся на стыке биологии, химии и экологии с 70-х годов прошлого века вылилось в системную науку - экологическую биохимию. Круг вопросов, решаемых в рамках этого научного направления велик. Это - эколого-биохимические механизмы адаптаций организмов различного филогенетического уровня к различным факторам среды; особенности метаболизма организмов самых разных систематических групп, различающихся типом питания, способами получения и запасаания энергии, обитающих в разных географических зонах и занимающих определенные экологические ниши; механизмы химического взаимодействия между организмами различного уровня. Теоретическую и практическую значимость имеют исследования влияния на организм, популяцию и экосистему веществ, загрязняющих биосферу; механизмов биотрансформации чужеродных соединений в биологических системах разного уровня организации; механизмов устойчивости (резистентности) организмов к неблагоприятным воздействиям среды путем поддержания в норме или направленного восстановления физиологических и биохимических процессов.

Для того чтобы эффективно использовать эколого-биохимические подходы для решения широкого круга задач, необходимо обладать компетентностью в самых разнообразных областях, глубокими базовыми знаниями биохимии, экологии, зоологии, ботаники, физиологии растений и животных, ксенобиологии, аспектов физико-химической биологии, биофизики, математики, компьютерных технологий и др. Таким образом, подобный курс может быть рассмотрен как форма сочетания и взаимного дополнения знаний в рамках, предусмотренных классическими фундаментальными университетскими программами с современными, динамичными и развивающимися прикладными аспектами на стыке широкого спектра дисциплин. Он призван ознакомить аспирантов с самыми различными научными идеями и подходами, методологической составляющей с целью обеспечения возможностей не только их применения, но и дальнейшего развития новых направлений экологической биохимии.

### 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – изучение стратегии биохимической адаптации живых организмов, особенностей протекания биохимических процессов у различных видов в экологическом и эволюционном аспектах и способов биохимического взаимодействия между различными организмами.

Задачей преподавания данной дисциплины является формирование у студентов прочных знаний о сущности и стратегиях биохимических адаптаций, а также привитие необходимых навыков эколого-биохимического анализа, постановки и проведения экспериментов.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)

Дисциплина относится к вариативным дисциплинам Блока 1, является обязательной и направлена на сдачу кандидатского экзамена (код дисциплины: Б1.В1.ОД2.)

### 3. Требования к уровню подготовки аспиранта, завершившего изучение данной дисциплины

Аспиранты, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

– **знать:**

- эколого-биохимические механизмы адаптаций организмов различного филогенетического уровня к различным факторам среды; особенности метаболизма

организмов самых разных систематических групп, различающихся типом питания, способами получения и запасаения энергии, обитающих в разных географических зонах и занимающих определенные экологические ниши;

- биохимические основы взаимодействия организмов различного уровня;
- теоретическую и практическую значимость исследований влияния на организм, популяцию, экосистему веществ, загрязняющих биосферу, механизмы биотрансформации и биodeградации ксенобиотиков, судьбу поллютантов в биосфере.
- механизмы устойчивости (резистентности) организмов к неблагоприятным воздействиям среды.

– **уметь:**

- ориентироваться в проблемах, связанных с биохимической адаптацией живых организмов к внешней среде.
- использовать методы теоретического и экспериментального исследования для изучения различных аспектов экологической биохимии;
- использовать новейшие достижения в области экологической биохимии в реальных экологических ситуациях для формулирования и решения практических задач.

– **владеть:**

- методами эколого-биохимических исследований, навыками постановки и проведения эксперимента.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов), в т.ч.:

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>108/3</b>
в том числе:	
лекции	36/1
практические занятия	54/1,5
семинары	18/0,5
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>108/3</b>
в том числе:	
подготовка к семинарам	72/2
подготовка рефератов и к выполнению контрольных работ	36/1
<b>Всего</b>	<b>216/6</b>
<b>Вид контроля по дисциплине</b>	<b>зачет</b>

## 5. Содержание дисциплины:

### 5.2 Наименование и содержание тем лекционных занятий:

№ п/п	Наименование тем лекционных занятий и их содержание	Кол-во час.
1.	<p><b>Предмет и задачи экологической биохимии.</b></p> <p>Понятия адаптации и гомеостаза. Факторы среды. “Внутренняя” среда. Типы адаптивных реакций. Парадигма адаптации (Гомеостаз и адаптация. Энантиостаз и адаптация.) Скорость биохимической адаптации и ее связь с имеющимися адаптивными механизмами. Компенсаторная и наступательная (эксплуатативная) адаптация. Биохимическая адаптация: основные механизмы и стратегии. Фундаментальные механизмы биохимической адаптации (Адаптивные изменения ферментных систем. Адаптация на уровне микроокружения макромолекул. Адаптация путем изменений метаболической активности.) Трудности эколого-биохимических исследований. Теория функциональных блоков. Концепция симморфоза. Оптимальность биохимических конструкций. Ограничения и прерывистость конструкций.</p>	2
2.	<p><b>“Конструкция” клеточного метаболизма. Адаптация ферментов к метаболическим функциям.</b></p> <p>Функциональные блоки и их сопряжение (катаболические реакции, анаболические реакции, амфиболические реакции). Адаптация “оборудования” и адаптация его “производительности” АТФ-эквиваленты и другие сопрягающие вещества. Окислительный метаболизм: центральная роль цикла Кребса. Расходование различных веществ для нужд клетки. Анаэробный гликолиз и гликогенолиз. (Роль альфа-глицеролфосфат-дегидрогеназы. Регуляция на уровне фосфоглицератов. Регуляция на уровне фосфоенолпирувата. Регуляция на уровне пирувата.) Гликоген как форма хранения энергии. Окисление жиров. Спираль бета-окисления. Белки и аминокислоты как потенциальные источники энергии. Гидролиз белка. Дезаминирование и трансаминирование. Судьба аммиака. Филогенез цикла мочевины. Судьба углеродного скелета аминокислот. Участие промежуточных продуктов цикла Кребса в катаболических и анаболических процессах. Восполнение убыли промежуточных продуктов цикла Кребса. Дыхательная цепь в митохондриях млекопитающих. Необходимость челночных механизмов переноса водорода. Каким образом перенос электронов на кислород приводит к синтезу АТФ? Энергетическая емкость процессов синтеза АТФ из различных субстратов. Уровни регуляции концентрации ферментов (Кинетика насыщения. Понятие ключевых ферментов.) Ферменты как катализаторы и регуляторы.</p>	2
3.	<p><b>Биохимические адаптации к физической нагрузке</b></p> <p>Основные стратегии. Метаболизм и работа мышц. Типы скелетных мышечных волокон у позвоночных. Запасы энергии и последовательность их использования при различных видах работы. Каскадная система регуляции мышечной гликогенфосфоорилазы. Регуляторные функции мышечной фосфофруктокиназы. Роль ADP в</p>	2

	<p>согласовании активности фосфофруктокиназы и реакций гликолиза, протекающих с образованием АТФ. Роль ADP в сопряжении анаэробного гликолиза с активностью АТФаз. Поддержание окислительно-восстановительного равновесия в ходе анаэробного гликолиза. Буферная емкость мышц и способность их к анаэробной работе. Повышенная способность к окислительным процессам у красных мышечных волокон и волокон промежуточного типа. Взаимоотношения между обменом глюкозы и жиров. Углеводы и жиры как источники энергии для длительной работы. “Компромисс” между двумя основными субстратами. Иницилирующие этапы в использовании жиров мышцами. Контроль мобилизации жиров в жировой ткани. Общие принципы регуляции цикла Кребса в мышечной ткани при работе. Регуляция митохондриального дыхания и фосфорилирования. Роль креатинфосфата в переносе энергии. Роль митохондриальной креатинфосфокиназы. Значение высокого сродства митохондриальных ферментов к ADP для метаболизма. ADP-зависимая регуляция митохондриального дыхания при физической работе и тренировке. Конкуренция между различными путями выработки энергии. Сходство и различия между анаэробным и аэробным энергообеспечением. Зависимость каталитического потенциала гликолитических и окислительных ферментов от размеров тела. Роль фосфагенов и множественности конечных дегидрогеназ у двусторчатых и брюхоногих моллюсков. Возможные механизмы адаптации при тренировке на выполнение анаэробной работы. Рабочая гипертрофия мышц. Адаптивные изменения роли быстрых “гликолитических” волокон. Влияние анаэробной работы мышц на запасы гликогена и креатинфосфата. Влияние анаэробной тренировки на содержание ферментов. Влияние анаэробной тренировки на изозимный состав ферментов. Влияние анаэробной тренировки на буферную емкость мышц. Возможные механизмы адаптации при аэробной тренировке. Влияние аэробной тренировки на превращения гликогена и глюкозы в печени. Влияние аэробной тренировки на метаболизм триацилглицеролов. Влияние аэробной тренировки на снабжение мышц кислородом и его использование.</p>	
4.	<p><b>Особенности метаболизма в условиях аноксии и гипероксии.</b></p> <p>Истинное брожение в сопоставлении с дыханием (анаэробным и аэробным). Сущность брожения. Общая организация процесса брожения у бактерий. Животные-анаэробы как пример систем автономного жизнеобеспечения. Гликоген в центральном депо. Депонирование гликогена в периферических тканях и органах. Виды брожения с повышенной энергетической эффективностью. Общий путь образования летучих жирных кислот. Уменьшение потребности в глюкозе в анаэробных условиях путем снижения метаболизма. Сущность проблемы конечных продуктов и варианты ее решения. Протон как метаболический интермедиат. Стехиометрия образования протонов при гликолизе и гликогенолизе и величина рН. Протонный баланс в реакциях образования сукцината и пропионата. Гидролиз АТФ и образование ионов H<sup>+</sup>. Сопряжение процессов брожения с АТФазной реакцией и стехиометрия образования ионов H<sup>+</sup>. Соотношение между ресинтезом АТФ и образованием H<sup>+</sup> зависит от типа анаэробного пути. Уменьшение выхода конечных продуктов за счет снижения</p>	4

	<p>потребности тканей в АТФ. Пути повышения устойчивости к накапливаемым конечным продуктам. Минимизация накопления лактата за счет его дальнейшего метаболизма. Детоксикация сероводорода. Реакции, в которых потребляются ионы <math>H^+</math>. Баланс ионов <math>H^+</math> при спиртовом брожении. Проблема восстановления метаболического гомеостаза. Освобождение от анаэробных конечных продуктов у беспозвоночных. Видоизмененный цикл Кори у головоногих моллюсков. Освобождение от лактата у позвоночных. Перезарядка периферических и центральных депо гликогена. Адаптивные реакции к гипероксии. Антиоксидантная система клетки.</p>	
5.	<p><b>Метаболические адаптации к нырянию</b></p> <p>Проблемы и стратегии. Расходование гликогена печени черепаками и двоякодышащими рыбами в условиях гипоксии. Снижение интенсивности метаболизма — одно из рефлекторных физиологических изменений при нырянии. Биохимические проявления реакции на погружение в воду. Энергетические потребности мозга при нырянии. Энергетические потребности легких при нырянии. Энергетические потребности сердца при нырянии. Потребление мозгом, легкими и сердцем кислорода, запасенного в организме. Максимальное время аэробного жизнеобеспечения при нырянии. Разделение функций на аэробные и анаэробные при нырянии. Мышечный метаболизм при кормовом (кратковременном) и исследовательском (длительном) нырянии. Снижение оборота АТФ при недостатке кислорода во время пребывания под водой. Размеры тела и продолжительность ныряния. Проблема конечных продуктов: основное решение — толерантность к их накоплению в тканях. Проблема конечных продуктов: вспомогательное решение — переработка молочной кислоты. Восстановление гомеостаза при выходе на поверхность. Устранение избытка лактата, пирувата, аланина и глутамина. Восстановление запасов глюкозы и гликогена: решающая роль времени. Почему при нырянии используется в основном аэробный метаболизм.</p>	2
6.	<p><b>Адаптация к морским глубинам.</b></p> <p>Специфические особенности морских глубин (Физические особенности. Источники пищи на больших глубинах.) Адаптация к гидростатическому давлению. Адаптация кинетических свойств ферментов к давлению. Различия в каталитической эффективности ферментов, связанные с давлением. Влияние давления на структуру белков. Адаптация липидных систем. Интенсивность метаболизма у глубоководных животных: совместное влияние физических и биологических факторов. Адаптивные механизмы, снижающие интенсивность обмена у глубоководных животных.</p>	2
7.	<p><b>Выключение активного метаболизма у животных и растений</b></p> <p>Причины снижения интенсивности обмена веществ. Ангидробиоз и обезвоженные организмы. Основные морфологические особенности цист. Содержание воды и метаболическое состояние цист артемии. Роль глицерола и трегалозы. Ангидробиоз у почвенных нематод. Морфологические и ультраструктурные изменения у нематод при высушивании. Изменения метаболизма нематод при переходе к ангидробиозу. Корреляция между содержанием многоатомных спиртов</p>	2



	<p>и выживанием. Прекращение метаболизма при ангидробиозе. “Пробуждение” от ангидробиоза у нематод. Биологическое значение ангидробиоза. Диапауза у насекомых. Организация метаболизма при зимней диапаузе. Гликоген как предшественник многоатомных спиртов. Возможные источники восстановительных эквивалентов во время диапаузы. Цикл Кребса как источник восстановительной силы. Летняя спячка двоякодышащих рыб. Общая организация метаболизма у двоякодышащих рыб. Экономия гликогена во время летней спячки у двоякодышащих рыб. Использование источников энергии при летней спячке у двоякодышащих рыб. Метаболизм белков и аминокислот у двоякодышащих рыб. Зимняя спячка грызунов. Приспособительные особенности питания перед зимней спячкой. Зимняя спячка и голодание: сравнительные аспекты. Роль аминокислот при зимней спячке мелких млекопитающих. Работа почек во время спячки. Механизмы регуляции цикла мочевины: роль ацетилглутамата. Роль орнитина в регуляции цикла мочевины. Замедление цикла мочевины: выбор управляющего воздействия. Регуляция цикла мочевины у млекопитающих. Источники воды при спячке. Спячка у крупных млекопитающих (медведей). Белковый метаболизм медведя во время спячки. Контроль подавления метаболизма при спячке.</p>	
8.	<p><b>Адаптации, связанные с развитием, у млекопитающих</b></p> <p>Стадии развития. Стратегическое положение и роль плаценты. Источники углерода и энергии для плода. Изозимы гексокиназы в процессе развития организма. Изозимы лактатдегидрогеназы в процессе развития. Значение изменений спектра изозимов ЛДГ в процессе развития: выбор между двумя субстратами. Окисление жирных кислот в период развития. Метаболизм аминокислот в период внутриутробного развития. Глюконеогенез в период внутриутробного развития. Липогенез в период внутриутробного развития. Адаптация материнского организма к беременности. Ограничения, связанные с размерами тела. Метаболические адаптации, связанные с рождением. Источники энергии в первые часы жизни. Метаболические адаптации в период питания материнским молоком. Метаболические адаптации у матери в период вскармливания. Приспособление молочных желез к липогенезу во время лактации. Адаптация молочных желез для синтеза лактозы. Метаболические адаптации к переходу на самостоятельное питание у детенышей. Обзор основных особенностей метаболизма на разных стадиях развития. Ферментные основы адаптации в процессе развития.</p>	4
9.	<p><b>Дыхательные белки</b></p> <p>Географическое распределение признака серповидноклеточности. Основные функции дыхательных белков: аналогии с работой ферментов. Функция гемоглобинов позвоночных и ее регуляция. Связывание протонов и модуляция гемоглобина. Адаптация гемоглобинов позвоночных: варианты НЬ. Множественные гемоглобины лососевых и чукучановых рыб. Смена гемоглобинов в процессе развития кижуча. Обратный эффект Бора на примере гемоглобина <i>Amphiuma means</i>. Адаптивная модуляция свойств гемоглобинов. Адаптация дыхательных белков у беспозвоночных.</p>	2



10.	<p><b>Биохимические адаптации связанные с водными растворами</b></p> <p>Основные стратегии адаптации к изменениям осмотического давления. Качественный состав биологических растворов. Стратегии накопления органических осмолитов. Стратегия совместимых осмолитов. Стратегия взаимокомпенсирующих растворенных веществ. Влияние совместимых и взаимокомпенсирующих растворенных веществ на структуру белка. Белки, адаптированные к присутствию мочевины. Регулирование концентраций мочевины и метиламинов. Стратегия адаптации галофильных бактерий. Природа белков галофильных бактерий. Физико-химические особенности взаимодействий между осмолитами, белками и водой. Взаимодействия моносахаридов с белками: преимущества использования глюкозы как источника энергии. Оптимальная величина рН и состав буферных систем. Величина рН внутриклеточной жидкости и значение ионизации метаболитов. Растворяющая способность воды и эволюция метаболизма.</p>	2
11.	<p><b>Адаптация к температуре</b></p> <p>Первичные температурные эффекты. Эндотермия и регуляция температуры тела. Преимущества и цена эндотермии. Биохимические предпосылки для эндотермной регуляции. Бурая жировая ткань. Термогенез, связанный с дрожью. Термогенез без дрожи. Выработка тепла в “холостых циклах”. Регуляция теплоотдачи у эндотермных животных: адаптивные особенности кровообращения и теплоизоляции. Теплоизоляция. Роль кровеносной, системы в регуляции теплоотдачи. Теплоотдача через кровеносную систему: противоточные теплообменники. Происхождение эндотермной гомеотермии. Экотермия. Адаптивные изменения белков. Компенсация влияния температуры на катализ. Каталитическая эффективность ферментов и адаптация к температуре. Конформационные основы различий в эффективности ферментов. Связь между энергией связывания и энергией активации. Постоянство кажущейся <math>K_m</math>. Связь между температурой, <math>K_m</math> и рН: поддержание постоянства <math>K_m</math> путем изменения рН. Сохранение степени протонирования имидазола. Пороги температурного стресса. Температурная зависимость <math>K_m</math> и значения <math>Q_{10}</math>. Изозимы и температурная акклимация. Температурная адаптация и аллозимы. Компенсация температурных эффектов путем изменения концентраций ферментов. Термостабильность белков. Обратимое влияние температуры и рН на ассоциацию субъединиц. Температурная адаптация процессов сборки субъединиц на примере мышечного актина. Влияние температуры на липиды. Гомеостаз вязкости: основные механизмы. Роль антифризов, веществ, способствующих образованию льда, и многоатомных спиртов у насекомых. Регуляция синтеза и расщепления антифризов.</p>	4
12.	<p><b>Биохимические адаптации растений к окружающей среде</b></p> <p>Биохимические основы адаптации к климатическим условиям. Фотосинтез у тропических растений. Адаптация к холоду. Адаптация к затоплению. Адаптация к засухе. Биохимическая адаптация к почве. Токсичность селена. Токсичность тяжелых металлов. Адаптация к засолению. Механизмы детоксикации у растений. Детоксикация фенолов, системных фунгицидов и гербицидов. Биохимия опыления</p>	2

	растений. Роль окраски цветка. Цвет, который предпочитают опылители. Химические основы окраски цветков. Эволюция окраски цветка. Указатели нектара. Роль запаха цветков. Типы запаха. Феромоны насекомых и запахи цветков. Роль нектара и пыльцы. Сахара нектара. Аминокислоты нектара. Липиды нектара. Токсины нектара. Экстрафлоральные нектарники. Питательная ценность пыльцы.	
13.	<p><b>Биохимические адаптации связанные с питанием.</b></p> <p>Адаптация ферментов позвоночных к особенностям питания. Пищевые вещества, предпочитаемые насекомыми. Биохимические основы выбора растений насекомыми, коэволюционные аспекты. Химические вещества, растений как средство защиты. Требования насекомых к пище. Вторичные вещества как пищевые аттрактанты. Взаимодействие тутовый шелкопряд — шелковица. Глюкозинолаты крестоцветных как пищевые аттрактанты. Вторичные вещества как пищевые детерренты. Пяденица зимняя и Панины листьев дуба. Колорадский жук и алкалоиды Solanum. Эволюция пищевых детеррентов у высших растений. Защита растений. Ответная реакция насекомых. Пищевые вещества, предпочитаемые позвоночными, в том числе человеком. Домашние животные (Ответная реакция на отдельные вещества. Ответная реакция на вещества, присутствующие в растениях. Предпочитаемые вещества пищи.) Дикие животные. Человек (Выбор растений для питания. Химия вкуса. Химия сладкого вкуса. Интенсификаторы и модификаторы вкуса.)</p>	2
14.	<p><b>Экологическая биотехнология</b></p> <p>Уменьшение загрязнения биосферы. Экологически безопасные способы воздействия на виды, имеющие экономическое значение. Защита урожая в сельском хозяйстве. Природные экологические хеморегуляторы. Пропестициды. Интегрированная защита сельскохозяйственных растений. Аквакультура и проблемы качества воды. Использование биокаталитических систем в биосинтетических и биотрансформирующих реакциях. Синтез БАВ. Оценка биологической активности (БА) веществ: проблемы биотестирования и информационной биотехнологии. Отставание изучения БА веществ от синтеза новых ксенобиотиков и идентификации природных веществ. Проблемы поиска альтернатив традиционному биотестированию на животных. Проблема соотношения и коррелирования результатов биотестирования, полученных на разных тест-объектах и разными методами. Медицина. Генная инженерия. Проблемы биотрансформации экзогенных веществ в организмах и экосистемах: биохимическая экология ксенобиотиков. Антропогенные БАВ и некоторые проблемы химического загрязнения биосферы. Некоторые биохимические аспекты формирования среды обитания и биотрансформация экзогенных БАВ (реакции окисления, реакции восстановления, реакции дегградации, реакции конъюгации, дегалогенирование). Некоторые особенности метаболизма ксенобиотиков. Проблемы загрязнения и судьба ксенобиотиков в экосистемах: взаимодействие биотических и абиотических факторов. Судьба ксенобиотиков в биогеоценозах. Связь между структурой вещества и его особенностями как поллютанта. Ограниченность способности экосистем к детоксикации ксенобиотиков и проблемы остатков поллютантов в экосистемах. Персистентные и</p>	4

неразлагающиеся ксенобиотики. Экологическая опасность биоразрушаемых поллютантов и остатков неразложившихся поллютантов. Обезвреживание ксенобиотиков у млекопитающих (общая характеристика и фазы метаболизма). Значение и происхождение систем метаболизма ксенобиотиков. Связывание, транспорт и выведение ксенобиотиков. Индукция защитных систем.	
<b>Итого часов/зачетных единиц</b>	<b>36/1</b>

## 5.2 Содержание практических занятий:

№ п/п	Наименование тем практических занятий	Кол-во час.
1.	<p>Ознакомление с методами определения активности ферментов (включая подготовительный этап приготовления необходимых реактивов для анализа, гомогенатов ткани, центрифугирования и определения активности фермента):</p> <p>а) ферменты метаболических путей энергетического обмена (ЛДГ, МДГ, СДГ, ЦО);</p> <p>б) ферменты реакций углеводного обмена (Г-6-ФДГ и 1-ГФДГ);</p> <p>в) ферменты лизосомального аппарата клетки (фосфатазы, ДНКазы и РНКазы, <math>\beta</math>-глюкуронидаза, катепсина В и D);</p> <p>г) протеолитические ферменты (кальций-зависимые протеиназы);</p> <p>д) <math>Na^+/K^+</math> АТФаза.</p>	12
2.	<p>Использование методов определения активности ферментов в решении задач экологической биохимии:</p> <p>а) исследование активности и свойств протеолитических ферментов в различных органах и тканях гидробионтов (рыбы, моллюски, ракообразные): тканеспецифичность, видовые различия;</p> <p>б) изменение активности и кинетических свойств изоферментов ЛДГ при температурных адаптациях;</p> <p>в) изучение возрастных изменений активности лизосомальных ферментов в различных органах и тканях рыб.</p>	10
3.	<p>Ознакомление с современными методами исследования липидов</p> <p>а) разделение общих липидов методом тонкослойной хроматографии;</p> <p>б) анализ отдельных фракций фосфолипидов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ);</p> <p>в) изучение жирнокислотного состава общих липидов методом газожидкостной хроматографии.</p>	6
4.	<p>Использование методов исследования липидов в решении задач экологической биохимии:</p> <p>а) определение содержания различных групп липидов в органах морских и пресноводных рыб;</p> <p>б) исследование жирнокислотного спектра различных органов и тканей гидробионтов на разных стадиях развития.</p>	12
5.	<p>Ознакомление с современными методами исследования низкомолекулярных пептидов:</p> <p>а) определение качественного и количественного состава низкомолекулярных пептидов;</p> <p>б) определение активности глутатион S-трансферазы.</p>	6

6.	Использование методов изучения пептидов в решении задач экологической биохимии: а) вариабельность состава пептидов с молекулярной массой ниже 10 кДа в тканях и органах рыб из водоемов с различной антропогенной нагрузкой; б) изменение активности глутатион S-трансферазы органов рыб при воздействии на них различных концентраций тяжелых металлов.	8
<b>Итого часов/зачетных единиц</b>		<b>54/1,5</b>

### 5.3 Содержание семинарских занятий:

№ п/п	Наименование тем семинарских занятий	Кол-во час.
1.	Представление кратких сообщений на тему: Пути образования АТФ в клетке. Адаптивные изменения реакций энергетического обмена при воздействии различных факторов среды	2
2.	Обсуждение темы: Выключение активного метаболизма у животных и растений	2
3.	Семинар-дискуссия на тему: Эколого-биохимические подходы к изучению акклиматизации различных видов животных к условиям Севера.	2
4.	Представление докладов по теме: Биохимические адаптации животных к физической нагрузке. Особенности метаболизма животных при различных типах физической нагрузки.	2
5.	Семинар-конференция: Особенности метаболизма в условиях аноксии и гипероксии.	2
6.	Представление сообщений и семинар-дискуссия на тему: Роль рецепторных белков в адаптации организма к воздействию неблагоприятного фактора среды.	2
7.	Семинар на тему: Загрязнение окружающей среды и экологическая биотехнология.	2
8.	Семинар-конференция на тему: Перестройка метаболических процессов в результате поступления в организм нитратов и нитритов.	2
9.	Обсуждение и анализ современной литературы на тему: Эколого-биохимическое тестирование и мониторинг токсических соединений в окружающей среде.	2
<b>Итого часов/зачетных единиц</b>		<b>18/0,5</b>

### 6. Самостоятельная работа аспиранта

№ п/п	Вид и наименование тем самостоятельной работы	Кол-во час.
1.	Подготовка к контрольной работе на тему: «Конструкции клеточного метаболизма. Адаптация ферментов к метаболическим функциям».	6
2.	Работа с литературой и подготовка к семинару-дискуссии на тему: «Эколого-биохимические подходы к изучению акклиматизации различных видов животных к условиям Севера»	12
3.	Подготовка к семинару-дискуссии на тему: «Биохимические	8

	адаптации животных к физической нагрузке. Особенности метаболизма животных при различных типах физической нагрузки.»	
4.	Работа с литературой и подготовка к семинару-конференции на тему: «Особенности метаболизма в условиях аноксии и гипероксии»	10
5.	Работа с литературой и подготовка к семинару-дискуссии на тему: «Роль рецепторных белков в адаптации организма к воздействию неблагоприятного фактора среды»	6
6.	Подготовка к контрольной работе на тему: «Адаптации связанные с развитием»	6
7.	Подготовка к контрольной работе на тему: «Адаптации, связанные с питанием. Адаптация ферментов к особенностям питания»	6
8.	Работа с литературой и подготовка к семинару-конференции на тему: «Загрязнение окружающей среды и экологическая биотехнология»	14
9.	Подготовка к контрольной работе на тему: «Характеристика основных классов токсических соединений, механизм их действия на организм человека и животных»	10
10.	Работа с литературой и подготовка к семинару-конференции на тему: «Перестройка метаболических процессов в результате поступления в организм нитратов и нитритов»	6
11.	Подготовка реферата на тему: «Стратегия биохимической адаптации в условиях хронического действия тяжелых металлов»	15
12.	Работа с литературой и подготовка к семинару-дискуссии на тему: «Эколого-биохимическое тестирование и мониторинг токсических соединений в окружающей среде»	9
	<b>Итого часов/зачетных единиц</b>	<b>108/3</b>

*Примечание.* Аспиранты могут сами предлагать темы рефератов касающихся эколого-биохимических аспектов темы их исследовательской работы.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. Boldyrev A. Carnosine and oxidative stress. Moscow-Petrozavodsk: Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, 2006. 393 p.
2. Биохимия. Под ред. Северина Е.С. – Изд-во «ГЭОТАР - МЕД», 2003 г., 779 стр.
3. Забуга Г.А. Экологическая биохимия: учебное пособие– Ангарск, 2006. - 30 с.
4. Коничев, А. С. Биохимия и молекулярная биология / А. С. Коничев, Г. А. Севастьянова. - М. : Дрофа, 2008. - 359 с.
5. Кочетов Г.А. Практическое руководство по энзимологии: Учеб. пособие для студентов биологических специальностей университетов. — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 1980.— 272 с, с ил.
6. Коэн Ф. Регуляция ферментативной активности: Пер-с англ.—М.: Мир., 1986. — 144.
7. Лав Р.М. Химическая биология рыб. М., 1976.
8. Ленинджер А. Основы биохимии. Т. 1-3. М., 1985
9. Ньюсхолм Э., Старт К. Регуляция метаболизма. Изд. «Мир», М, 1977.
10. Озернюк Н.Д. Механизмы адаптаций. М.: Наука, 1992, 272 с.
11. Озернюк Н.Д. Феноменология и механизмы адаптационных процессов. М.: Изд-во МГУ, 2003. 215 с.

12. Справочник биохимика / Доусон Р., Эллиот Д., Эллиот У, Джонс К.: Пер. с англ. М.: Мир, 1991.
13. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии. Биотехнология, сельское хозяйство, охрана среды. М., Наука, 1990.- 288 с.
14. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. М.: Мир. 1997.
15. Харборн Дж. Введение в экологическую биохимию М., 1985.
16. Хочачка П., Сомеро Д. Биохимическая адаптация. М., 1988.
17. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М., 1980.
18. Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных. Почему они так важны? М. 1998
19. Шмидт-Ниельсен К. Физиология и среда. Приспособление и среда. Кн. 1 –2. М., 1982.
20. Экологическая биотехнология. / Под ред. К.Ф.Форстера и Д.А.Дж. Вейза. Л., 1990.

#### Дополнительная литература:

1. Баррет А.Дж., Хит М.Ф. Лизосомные ферменты // Лизосомы. Методы исследования. М.: Мир. 1980. С.25-156.
2. Болдырев А.А., Ещенко Н.Д., Илюха В.А., Кяйвяряйнен Е.И. «Нейрохимия» Из-во: Дрофа, Москва, 2010 г.
3. Болдырев А.А., Кяйвяряйнен Е.И., Илюха В.А. Биомембранология. Учебное пособие.- Петрозаводск, Изд-во КарНЦ РАН, 2006. – 226 с.
4. Бондарева Л.А. Немова Н.Н. К вопросу об эволюции протеолитических ферментов. Биомедицинская химия. 2008. Т. 54. Вып. 1. С. 42-57.
5. Бондарева Л.А., Кяйвяряйнен Е.И. Немова Н.Н. Внутриклеточная  $Ca^{2+}$ -зависимая протеолитическая система животных. М.: Наука, 2006, 216 с.
6. Высоцкая Р.У., Немова Н.Н. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука, 2008, 284 с.
7. Крылов В.В., Канцерова Н.П., Лысенко Л.А. Магнитобиология. Физиолого-биохимические методы исследования биологических эффектов магнитных полей. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий по курсу «Магнитобиология». Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 32 с. / 1 п.л.
8. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ : учебное пособие / Л. В. Коваленко. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 228,[1] с.
9. Лузиков, В. Н. Экзоцитоз белков : курс лекций : учеб. пособие / В. Н. Лузиков. - М. : Академкнига, 2006. - 253 с. - (Учебное пособие для вузов).
10. Лысенко Л.А., Канцерова Н.П., Ушакова Н.В., Немова Н.Н. Протеиназы семейства кальпайнов у водных беспозвоночных и рыб // Биоорганическая химия. 2011
11. Лысенко Л.А., Немова Н.Н., Канцерова Н.П. Протеолитическая регуляция биологических процессов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2012. 450 с.
12. Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука, 2005, 164 с.
13. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004, 216 с.
14. Немова, Н. Н. Протеолитические ферменты : учеб. пособие / Н. Н. Немова, Л. А. Бондарева ; КарНЦ РАН, Ин-т биологии. - Петрозаводск, 2005. - 91 с.
15. Сидоров В.С. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука, 1983, 238 с.
16. Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях эктотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука. 2007. 182 с.

17. Смирнов Л.П., Богдан В.В. Температурная преадаптация жирнокислотных составов липидов у эктотермных организмов разной организации. Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 2006. Т. 42, № 2. С. 110-115.
18. Смирнов Л.П., Суховская И.В., Немова Н.Н. Влияние различных факторов среды на низкомолекулярные пептиды рыб. Экология, № 1. 2005. С. 48-54.
19. Фокина Н.Н., Нефедова З.А., Немова Н.Н. Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания. Петрозаводск. Изд-во КарНЦ РАН, 2010. 242 с.
20. В.А. Исидоров. Введение в химическую экотоксикологию: Учебное пособие. С.-Пб.: Химиздат, 1999.
21. Бондарева Л.А. Немова Н.Н. К вопросу об эволюции протеолитических ферментов.
22. Биомедицинская химия. 2008. Т. 54. Вып. 1. С. 42-57.
23. Нельсон Дж. С. Рыбы мировой фауны. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 880 с.
24. Lipids in Aquatic Ecosystems / ed. M.T. Arts, M.T. Brett, M. J. Kainz. Springer Science + Business Media, 2009. 377 p.
25. А.Д. Наумов. Аномальный выброс морских звезд в Двинском заливе весной 1990 г. СПб, 2011. 414 с.
26. Природа острова Врангеля: современные исследования. Сборник научных трудов / под ред. А.Р. Груздева. СПб: Астерион, 2007. 340 с.
27. Андриашева М.А. Генетические аспекты разведения сиговых рыб. СПб, 2011. 639 с.
28. Salway J.G. Metabolism at a glance. Blackwell Science Ltd, 1994. 96 p.
29. Елисеев В.Г. и др. Атлас микроскопического и ультрамикроскопического строения клеток, тканей и органов. М.: Медицина, 2004. 448 с.
30. Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. 230 с.
31. А.Д. Наумов. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб, 2006. 367 с.
32. Proceedings of the 13<sup>th</sup> Bratislava Symposium on Saccharides "Recent Advances in Glycomics". Smolenice Castle, Slovakia. 2014. 141 p.
33. Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов. Материалы всероссийской конференции с международным участием. Борок, 2012. 400 с.
34. Водные объекты города Петрозаводска: учебное пособие / ред. А.В. Литвиненко, Т.И. Пергеранд. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 109 с.
35. Environmental Science: understanding, protecting, and managing the environment in the Baltic Sea region / ed. L. Ryden, P. Migula, M. Andersson. The Baltic University Press, Uppsala, 2003. 824 p.
36. Филиппов А.В., Скирда В.Д., Рудакова М.А. Латеральная диффузия в липидных мембранах в присутствии холестерина. Казань, 2010. 221 с.
37. Карамушко Л.И. Биоэнергетика рыб северных морей. М.: Наука, 2007. 253 с.
38. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Сборник материалов XII международной конференции с элементами школы для молодых ученых и аспирантов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 361 с.

#### Базы данных

1. Биохимические показатели и содержание ртути в тканях окуня, *Perca fluviatilis*, из водоемов Северо-Запада России / Канцерова Н.П., рег. № 2012620793 (15.08 2012).
2. Комплекс биохимических показателей состояния мидий, *Mytilus eduli* L., при воздействии тяжелых металлов / Фокина Н.Н., Высоцкая Р.У., Вдовиченко Е.А.,



Канцерова Н.П., Лысенко Л.А., Руоколайнен Т.Р., Крупнова М.Ю., Немова Н.Н., Маркова Л.В., Бахмет И.Н. рег. № 2013620995 (23.08.2013)

3. Комплекс морфологических и биохимических показателей некоторых пресноводных видов рыб из техногенного водоема (модельный объект: водохранилище Костомукшского горно-обогатительного комбината, Республика Карелия) / Суховская И.В., Борвинская Е.В., Васильева О.Б., Вдовиченко Е.А., Высоцкая Р.У., Ильмаст Н.В., Канцерова Н.П., Крупнова М.Ю., Кляввярйнен Е.И., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Немова Н.Н., Рипатти П.О., Смирнов Л.П., Стерлигова О.П., Чурова М.В., Назарова М.А. рег. № 2013621294 (03.10.2013)

## 8. Вопросы к зачету по дисциплине “Экологическая биохимия”

Тема 1. Предмет и задачи экологической биохимии.

1. Понятия адаптации и гомеостаза.
2. Типы адаптивных реакций.
3. Скорость биохимической адаптации и ее связь с имеющимися адаптивными механизмами.
4. Биохимическая адаптация: основные механизмы и стратегии.

Тема 2. “Конструкция” клеточного метаболизма. Адаптация ферментов к метаболическим функциям.

1. Функциональные блоки и их сопряжение (катаболические реакции, анаболические реакции, амфиболические реакции).
2. Адаптация “оборудования” и адаптация его “производительности”
3. Окислительный метаболизм: центральная роль цикла Кребса.
4. Филогенез цикла мочевины.
5. Уровни регуляции концентрации ферментов (Кинетика насыщения. Понятие ключевых ферментов.)
6. Ферменты как катализаторы и регуляторы.

Тема 3. Биохимические адаптации к физической нагрузке.

1. Основные стратегии адаптации при физической нагрузке.
2. Типы скелетных мышечных волокон у позвоночных.
3. Запасы энергии и последовательность их использования при различных видах работы.
4. Поддержание окислительно-восстановительного равновесия в ходе анаэробного гликолиза.
5. Буферная емкость мышц и способность их к анаэробной работе.
6. Углеводы и жиры как источники энергии для длительной работы.
7. Общие принципы регуляции цикла Кребса в мышечной ткани при работе.
8. Регуляция митохондриального дыхания и фосфорилирования.
9. Сходство и различия между анаэробным и аэробным энергообеспечением.
10. Зависимость каталитического потенциала гликолитических и окислительных ферментов от размеров тела.
11. Адаптивные изменения роли быстрых “гликолитических” волокон.
12. Влияние анаэробной работы мышц на запасы гликогена и креатинфосфата.
13. Возможные механизмы адаптации при аэробной тренировке
14. Влияние аэробной тренировки на снабжение мышц кислородом и его использование.

Тема 4. Особенности метаболизма в условиях аноксии и гипероксии.

1. Истинное брожение в сопоставлении с дыханием (анаэробным и аэробным).
2. Животные-анаэробы как пример систем автономного жизнеобеспечения.
3. Депонирование гликогена в периферических тканях и органах.

4. Виды брожения с повышенной энергетической эффективностью.
5. Сущность проблемы конечных продуктов и варианты ее решения.
6. Проблема восстановления метаболического гомеостаза.
7. Освобождение от анаэробных конечных продуктов у беспозвоночных.
8. Видоизмененный цикл Кори у головоногих моллюсков.
9. Освобождение от лактата у позвоночных.
10. Перезарядка периферических и центральных депо гликогена.
11. Адаптивные реакции к гипероксии.
12. Антиоксидантная система клетки.

#### Тема 5. Метаболические адаптации к нырянию

1. Проблемы и стратегии адаптации к нырянию.
2. Расходование гликогена печени черепахи и двоякодышащими рыбами в условиях гипоксии.
3. Биохимические проявления реакции на погружение в воду.
4. Потребление мозгом, легкими и сердцем кислорода, запасенного в организме.
5. Мышечный метаболизм при кормовом (кратковременном) и исследовательском (длительном) нырянии.
6. Размеры тела и продолжительность ныряния.
7. Проблема конечных продуктов.
8. Восстановление гомеостаза при выходе на поверхность.
9. Почему при нырянии используется в основном аэробный метаболизм.

#### Тема 6. Адаптация к морским глубинам.

1. Специфические особенности морских глубин (Физические особенности. Источники пищи на больших глубинах.).
2. Адаптация кинетических свойств ферментов к давлению.
3. Влияние давления на структуру белков.
4. Адаптация липидных систем к морским глубинам.
5. Интенсивность метаболизма у глубоководных животных: совместное влияние физических и биологических факторов.
6. Адаптивные механизмы, снижающие интенсивность обмена у глубоководных животных.
7. Гидротермальные источники — область обильной жизни на больших глубинах.
8. Сульфид как источник энергии для пищевых сетей гидротермального сообщества.

#### Тема 7. Выключение активного метаболизма у животных и растений.

1. Причины снижения интенсивности обмена веществ.
2. Ангидробиоз и обезвоженные организмы.
3. Ангидробиоз у почвенных нематод.
4. Диapaуза у насекомых. Организация метаболизма при зимней диapaузе.
5. Летняя спячка двоякодышащих рыб. Общая организация метаболизма у двоякодышащих рыб.
6. Зимняя спячка грызунов.
7. Зимняя спячка и голодание: сравнительные аспекты.
8. Роль вторичного использования мочевины в кислотно-щелочной регуляции хозяина и симбионтов.
9. Спячка у крупных млекопитающих (медведей). Белковый метаболизм медведя во время спячки.

#### Тема 8. Адаптации, связанные с развитием, у млекопитающих

1. Стадии развития.

2. Стратегическое положение и роль плаценты.
3. Изозимы лактатдегидрогеназы в процессе развития.
4. Адаптация материнского организма к беременности.
5. Метаболические адаптации, связанные с рождением. Источники энергии в первые часы жизни.
6. Метаболические адаптации в период питания материнским молоком.
7. Метаболические адаптации у матери в период вскармливания.
8. Метаболические адаптации к переходу на самостоятельное питание у детенышей.
9. Основные особенности метаболизма на разных стадиях развития.

#### Тема 9. Дыхательные белки.

1. Географическое распределение признака серповидноклеточности.
2. Основные функции дыхательных белков: аналогии с работой ферментов.
3. Функция гемоглобинов позвоночных и ее регуляция.
4. Адаптация гемоглобинов позвоночных: варианты НЬ.
5. Адаптивная модуляция свойств гемоглобинов.
6. Адаптация дыхательных белков у беспозвоночных.

#### Тема 10. Биохимические адаптации связанные с водными растворами.

1. Основные стратегии адаптации к изменениям осмотического давления.
2. Качественный состав биологических растворов.
3. Стратегии накопления органических осмолитов.
4. Влияние совместимых и взаимокompенсирующих растворенных веществ на структуру белка.
5. Стратегия адаптации галофильных бактерий.
6. Физико-химические особенности взаимодействий между осмолитами, белками и водой.
7. Растворяющая способность воды и эволюция метаболизма.

#### Тема 11. Адаптация к температуре

1. Первичные температурные эффекты.
2. Эндотермия и регуляция температуры тела. Преимущества и цена эндотермии.
3. Биохимические предпосылки для эндотермной регуляции.
4. Выработка тепла в "холостых циклах".
5. Регуляция теплоотдачи у эндотермных животных: адаптивные особенности кровообращения и теплоизоляции.
6. Компенсация влияния температуры на катализ.
7. Пороги температурного стресса. Температурная зависимость  $K_m$  и значения  $Q_{10}$ .
8. Изозимы и температурная акклимация.
9. Температурная адаптация и аллозимы.
10. Термостабильность белков.
11. Влияние температуры на липиды.
12. Резистентность и толерантность к замораживанию.
13. Регуляция синтеза и расщепления антифризов.

#### Тема 12. Биохимические адаптации растений к окружающей среде.

1. Биохимические основы адаптации к климатическим условиям.
2. Адаптация к холоду.
3. Адаптация к засухе.
4. Биохимическая адаптация к почве.
5. Адаптация к засолению.
6. Механизмы детоксикации у растений.

Тема 13. Биохимические адаптации связанные с питанием.

1. Адаптация ферментов позвоночных к особенностям питания.
2. Пищевые вещества, предпочитаемые насекомыми.
3. Биохимические основы выбора растений насекомыми, коэволюционные аспекты.
4. Вторичные вещества как пищевые аттрактанты.
5. Эволюция пищевых детерментов у высших растений.
6. Пищевые вещества, предпочитаемые позвоночными, в том числе человеком.

Тема 14. Экологическая биотехнология.

1. Экологически безопасные способы воздействия на виды, имеющие экономическое значение.
2. Природные экологические хеморегуляторы. Пропестициды.
3. Оценка биологической активности (БА) веществ: проблемы биотестирования и информационной биотехнологии.
4. Проблема соотношения и коррелирования результатов биотестирования, полученных на разных тест-объектах и разными методами.
5. Проблемы биотрансформации экзогенных веществ в организмах и экосистемах: биохимическая экология ксенобиотиков.
6. Некоторые особенности метаболизма ксенобиотиков.
7. Экологическая опасность биоразрушаемых поллютантов и остатков неразложившихся поллютантов.
8. Обезвреживание ксенобиотиков у млекопитающих (общая характеристика и фазы метаболизма).
9. Значение и происхождение систем метаболизма ксенобиотиков.