

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НН ТГУ)

Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства  
(БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Биологического института

Д.С. Воробьев

« 29 » июня 20 23 г.



Рабочая программа дисциплины

**Биоэнергетика**

по направлению подготовки

**06.03.01 Биология**

Направленность (профиль) подготовки:

**«Биология»**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.08.01.07

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

Д.С. Воробьев

Председатель УМК

А.И. Борисенко

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Биоэнергетика» является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 - Способен применять принципы структурно-функциональной организации, использовать физиологические, цитологические, биохимические, биофизические методы анализа для оценки и коррекции состояния живых объектов и мониторинга среды их обитания

- ПК-1 - Способен участвовать в исследовании биологических систем и их компонентов, планировать этапы научного исследования, проводить исследования по разработанным программам и методикам, оптимизировать методики под конкретные задачи.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.1. Демонстрирует понимание принципов структурно-функциональной организации живых систем

ИОПК-2.2. Использует физиологические, цитологические, биохимические, биофизические методы анализа для оценки и коррекции состояния живых объектов и мониторинга среды их обитания.

ИПК-1.1 - Применяет полевые и лабораторные методы исследования биологических объектов с использованием современной аппаратуры и оборудования в соответствии с поставленными задачами.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Изучить механизмы запасаения, трансформации и передачи энергии в клетке, их количественных аспекты и методики изучения

– Научиться применять понятийный аппарат описания и расчётов биоэнергетических процессов для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 8, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Физика», «Химия», «Биохимия», «Физиология человека и животных», «Биофизика». Дисциплина «Биоэнергетика» является логическим продолжением в цепи дисциплин по принципу «от простого к более сложному», и сама является основой для углубленного изучения специальных дисциплин.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часов, из которых:

– лекции: 20 ч.;

– семинарские занятия: 14 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## 8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

ТЕМА 1. Иерархия биоэнергетических процессов. Виды энергии. Трофическая структура экосистемы. Перемещение вещества по пищевым цепям. Перемещение энергии по пищевым цепям. Цепи выедания и детритные цепи. Пирамиды энергии в экологических системах. Понятие валовой и чистой первичной продуктивности.

ТЕМА 2 Энергетика целого организма Общие черты и разница анаболизма и катаболизма. Понятия ассимиляции и диссимиляции. Механизмы регуляции метаболизма. Уровни взаимосвязи между катаболизмом и анаболизмом. Основные этапы распада углеводов, белков и жиров.

ТЕМА 3. Основы термодинамики неравновесных процессов Понятия термодинамической системы, термодинамического равновесия. Внутренняя энергия системы. Формы передачи энергии в живых системах. Свободная энергия живых систем и её свойства. Типы химической связи. Энергия активации образования и разрыва слабых химических связей. Откуда берется свободная энергия в биологических системах и как с ее помощью совершается работа? Сопряженные процессы. Условия сопряжения химических реакций.

ТЕМА 4. Законы биоэнергетики Разнообразие путей превращения энергии в живых клетках. Законы биоэнергетики. Отличия энергетики растительной клетки от энергетики животной клетки.

ТЕМА 5. Центральная роль адениловой системы в энергетике клеток. Роль АТФ в клеточной энергетике. Строение молекулы АТФ. Основные «статьи расходов» АТФ в клетке. Макроэргические соединения. Структура и представители. Низкоэнергетические фосфат-органические соединения. Принцип общего промежуточного продукта. Два важных способа синтеза АТФ, которые реализуются по всех клетках. Классификация ферментов.

ТЕМА 6. Энергетический метаболизм животной клетки. Этапы энергетического обмена. Аэробные и анаэробные пути получения энергии. Последовательность подключения механизмов анаэробного и аэробного энергообразования у животных. Масштабы работы электронтранспортной цепи и АТФ-синтазы митохондрий

ТЕМА 7. Гликолиз. Стадии гликолиза. Лимитирующие гликолиз условия. Последовательность участия ферментов в реакциях гликолиза. Особенности протекания гликолиза в клетках в присутствии кислорода и в его отсутствие. Энергетический выход гликолиза

ТЕМА 8. Цикл трикарбоновых кислот, глиоксилатный цикл, гексозомонофосфатный шунт. Цикл трикарбоновых кислот. Его функции в клетках. Глиоксилатный цикл. Отличия от ЦТК. Его функции в клетках. Функции гексозомонофосфатного шунта в клетках.

ТЕМА 9. Дыхательная цепь митохондрий, теория хемиосмотического сопряжения. Общее понятие о строении и функционировании дыхательной цепи. Характеристика компонентов дыхательной цепи: комплекс I и комплекс II, комплекс III и комплекс IV, убихинон и цитохром C. Схема последовательных окислительно-восстановительных реакций при переносе электронов и протонов с участием промежуточных переносчиков. Особенности строения электронтранспортных цепей бактерий. Сопряженные окислительно-восстановительные пары в ЭТЦ. Окислительно-восстановительный потенциал компонентов дыхательной цепи. Изменение стандартной свободной энергии в реакции, связанной с переносом электронов. Направление потока электронов и энергетические соотношения в дыхательной цепи. Вещества, подавляющие окислительное фосфорилирование. Специфические ингибиторы, блокирующим определенные этапы дыхательной цепи. Величины, характеризующие эффективность окислительного фосфорилирования. Акцепторный контроль дыхания. Строение комплекса F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> и образование АТФ. Основные положения хемиосмотической теории сопряжения. Экспериментальные доказательства хемиосмотической теории сопряжения.

Синтетические ионы. Особенности процесса окислительного фосфорилирования свидетельствующие в пользу хемиосмотической гипотезы. Альтернативное использование энергии протонного градиента. Митохондрии и старение организма.

ТЕМА 10. Биохемилюминесценция. Понятие биоллюминесценция. Процессы, лежащие в основе биоллюминесценции. Люциферины и люциферазы разных организмов. Белок GFP, его особенности функционирования и перспективы использования. Роль биохемилюминесценции в реализации биологических функций.

ТЕМА 11. Структура воды в биологических системах, Солитоны. Коллективные процессы. Солитон. Потребление и преобразование энергии посредством солитона. Понятие молекулярной ячейки. Отличия живой и неживой молекулярных ячеек. Фрактал. Принцип единства целого при свободе частей. Концепция молекулярной ячейки как основной единицы живого.

ТЕМА 12. Дискуссионные вопросы современной биоэнергетики

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения творческих домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

### **Планы семинарских занятий и формат их проведения:**

#### **1. Центральная роль адениловой системы в энергетике клетки**

План семинара:

а) Роль АТФ в клеточной энергетике;

б) Особенности строения ТАФ, делающие ее универсальной молекулой в клеточной энергетике;

в) Сравнения величин энергии АТФ и высоко- и низкоэнергетических

фосфаторганических соединений;

г) Макроэргические соединения: особенности строения и передачи энергии;

д) Анализ использования энергии АТФ в реакциях метаболизма;

е) Пути ферментативного переноса фосфатных групп.

#### **2. Начальные (подготовительные) реакции энергетического обмена в клетке**

План семинара:

а) Анализ этапов энергетического обмена на разных уровнях организации;

б) Сравнение аэробных и анаэробных путей получения энергии;

в) Рассмотрение последовательности подключения механизмов анаэробного и аэробного энергообразования;

г) Масштабы работы электронтранспортной цепи и АТФ-синтазы митохондрий

#### **3. Гликолиз**

План семинара:

а) Анализ условий протекания реакций гликолиза и поиск «узкого места»

б) Анализ особенностей протекания гликолиза в аэробных и анаэробных условиях

в) Расчет энергетического выхода гликолиза.

#### **4. Цикл трикарбоновых кислот**

План семинара:

а) Общий порядок реакций цикла Кребса;

б) Анализ стадий ЦТК;

в) Глиоксилатный цикл;

г) Фосфоглюконатный путь передачи энергии;

#### **5. Перенос электронов в дыхательной цепи и окислительное фосфорилирование**

План семинара:

а) Утилизация высвобождаемой энергии в пунктах энергетического сопряжения;

б) Характеристика компонентов дыхательной цепи;

- в) Схема последовательных окислительно-восстановительных реакций при переносе электронов и протонов с участием промежуточных переносчиков;  
г) Анализ особенностей строения электронтранспортных цепей бактерий

**6. Хемиосмотическая теория сопряжения**

План семинара:

- а) Содержание хемиосмотической теории Питера Митчела;  
б) Обоснование доказательств в пользу хемиосмотической теории сопряжения;  
в) Возможности альтернативного использования протонного градиента.

**Часть семинаров предусматривает очное тестирование. Образец вопросов для очного тестирования:**

1. В цикле трикарбоновых кислот не участвует фермент:  
А) аконитаза  
Б) транскетолаза  
В) сукцинатдегидрогеназа  
Г) фумараза  
Д) малатдегидрогеназа
2. В отсутствие окислительного фосфорилирования выход АТФ в цикле Кребса составляет (число молекул на 1 оборот цикла):  
А) 0      Б) 1      В) 2      Г) 3      Д) 12
3. Скорость цикла Кребса регулируется аллостерическими ферментами - цитратсинтазой и изоцитрадегидрогеназой?  
А) Да    Б) Нет
4. Сукцинил-КоА является макроэргическим соединением?  
А) Да    Б) Нет
5. Положительный баланс цикла Кребса составляют 15 молекул АТФ?  
А) Да    Б) Нет
6. Все ферменты цикла Кребса находятся в митохондриях?  
А) Да    Б) Нет

**10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Зачет** проводится в устной форме по билетам. Билет содержит три теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

**Примерный перечень теоретических вопросов**

1. Определение понятий биосфера, биологическая жизнь, живое вещество
2. Пирамиды энергии в экологических системах
3. Специфика живого вещества. Основные функции живого вещества
4. Трофическая структура экосистемы
5. Перемещение энергии по пищевым цепям Цепи выедания и детритные цепи
6. Понятие валовой и чистой первичной продуктивности
7. Откуда берется свободная энергия в биологических системах и как с ее помощью совершается работа?
8. Типы химической связи. Энергия активации образования и разрыва слабых химических связей
9. Уровни взаимосвязи между катаболизмом и анаболизмом Общие черты и разница анаболизма и катаболизма
10. Сопряженные процессы. Условия сопряжения химических реакций
11. Свободная энергия живых систем и её свойства
12. Основные этапы распада углеводов, белков и жиров
13. Механизмы регуляции метаболизма
14. Внутренняя энергия системы. Формы передачи энергии в живых системах

15. Протонный и натриевый потенциалы
16. Разнообразие путей превращения энергии в живых клетках
17. Роль АТФ в клеточной энергетике. Строение молекулы АТФ
18. Первый закон биоэнергетики
19. Второй закон биоэнергетики
20. Третий закон биоэнергетики
21. Основные «статьи расходов» АТФ в клетке
22. Макроэргические соединения. Структура и представители. Низкоэнергетические фосфат-органические соединения
23. Отличия энергетики растительной клетки от энергетики животной клетки
24. Этапы энергетического обмена
25. Последовательность подключения механизмов анаэробного и аэробного энергообразования у животных
26. Биологическое значение процесса гликолиза. Суммарное уравнение
27. Аэробные и анаэробные пути получения энергии
28. Стадии гликолиза. Последовательность участия ферментов в реакциях гликолиза
29. Лимитирующие гликолиз условия
30. Глиоксилатный цикл; его функции. Отличия от ЦТК.
31. Цикл трикарбоновых кислот. Его функции в клетках
32. Функции гексозомонофосфатного шунта в клетках
33. Масштабы работы электронтранспортной цепи и АТФ-синтазы митохондрий
34. Окислительное фосфорилирование. Суть и смысл этого процесса
35. Особенности протекания гликолиза в клетках в присутствии и отсутствии кислорода
36. Принцип общего промежуточного продукта
37. Способы образования АТФ в клетках
38. Электронтранспортная цепь митохондрий строение и функции
39. Классификация ферментов
40. Перенос электронов по дыхательной цепи и окислительное фосфорилирование
41. Ингибиторы, блокирующие перенос электронов в дыхательной цепи.
- Гидравлическая модель дыхательной цепи
42. Хемиосмотическая теория Питера Митчелла.
43. Высвечивание энергии окислительно-восстановительных реакций в виде биолюминесцентного излучения
44. Общие представления об АФК
45. Антиоксидантная защита клеток.
46. Митохондрии и старение организма

**Результаты зачета определяются как «зачтено» / «не зачтено».**

Итоговый зачет по дисциплине «Биоэнергетика» состоит из контроля самостоятельной работы, работы на семинарских занятиях (текущий контроль), результатов выполнения тестовых и творческих заданий в соответствующем курсе «Moodle» и итогового результата при ответе на вопросы билета.

**Оценка устного ответа (итоговый зачет):**

«Не зачтено» - студент не имеет представление о биоэнергетике живой клетки, допускает грубые ошибки в ответе и при использовании специальной терминологии; в течение учебного года занимался посредственно, на семинарских занятиях был пассивен, задания выполнял в основном с оценкой «2» или «3» балла.

«Зачтено» - студент владеет отличными знаниями об энергетических процессах в живой клетке, их количественной оценке и вариантах протекания, владеет специальной терминологией, при ответе на вопросы билета и дополнительные вопросы не допускает

ошибок, способен к анализу предложенных ситуаций; в течение учебного года студент полностью и успешно выполнил учебный план, активно работал на семинарских занятиях, при выполнении заданий получал в основном оценки «5 баллов».

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/mod/page/view.php?id=464422>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представленные в соответствующем курсе «Moodle».

План семинарских занятий по дисциплине, представленный в соответствующем курсе «Moodle».

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов, представленные в соответствующем курсе «Moodle».

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Большаков М.А., Жаркова Л.П. Мембранные процессы физиологический и биофизический аспекты. Учебное пособие. 2011.

– Жаркова Л.П., Большаков М.А. Основы энергетики живых систем. Учебное пособие. Томск:ТГУ. 2013. 164с.

– Мембранная биоэнергетика: /В. П. Скулачев, А. В. Богачев, Ф. О. Каспаринский Москва: Изд-во Московского университета, 2012 367 с.

б) дополнительная литература:

– Артюхов В.Г. и др. Биофизика. Учебник для ВУЗов. М: Академический проект, 2013. 294с.

– Журавлёв А.И. Квантовая биофизика животных и человека: учебное пособие. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 – 398 с.

– Ванаг В.К. Диссипативные структуры в реакционно-диффузионных системах. Эксперимент и теория. М: ИКИ, 2008. 300 с.

– Ярославцев А.Б. Мембраны и мембранные технологии. М: Научный мир, 2013. 612с.

– Джаксон М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика. М: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012-551 с.

– Рубин А.Б. Биофизика: в 3-х томах. (1т. - Теоретическая биофизика. 472 с.; 2 т. - Биофизика клеточных процессов. Биофизика мембранных процессов. 384 с.; 3 т. - Биофизика клеточных процессов. Механизмы первичных фотобиологических процессов. 480 с.). М: ИКИ, 2013.

– Л.Н.Галль, Н.Р.Галль. Новый подход к проблеме биоэнергетики - новые методы исследований в науках о жизни. Научное приборостроение, 2008, т.18, №2, с.52-60.

– Л.Н.Галль, Н.Р.Галль. Механизм межмолекулярной передачи энергии и восприятия сверхслабых воздействий химическими и биологическими системами. Биофизика, 2009, т.54, №3, с.563-574.

– Л. Галь Биоэнергетика – магия жизни М: АСТ; СПб.: Астрель-СПб, 2010. – 349с.

– Альберте Б., Брей Д., Льюис Дж. и др. Молекулярная биология клетки. 2-е изд. -М.: Изд-во «Мир», 1994. Т.1.

– Скулачев В.П. Законы биоэнергетики// Соровский общеобразовательный журнал. 1997. №1. С 9-14

– Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке// Соровский

образовательный журнал. 1997. №2. С 10-17

– Энергия, секс, самоубийство. Митохондрии и смысл жизни. Ник Лэйн 2016, 368

– В. П. Скулачев Как это делалось: о тех, кто создавал современную науку. Москва: Изд-во Московского университета, 2010. 220 с.

– Биохимия: [учебник для студентов медицинских вузов /Т. Л. Алейникова, Л. В. Авдеева, Л. Е. Андрианова и др.]; под ред. Е. С. Северина М.: ГЭОТАР-Медиа , 2005. 779 с.

– Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло// Соровский общеобразовательный журнал. 1996. №3. С 4-16.

– Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. - М.: Изд-во «Наука», 1989.

– Николс Д.Дж. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию. - М.: Изд-во «Мир», 1986

– Медицинская и биологическая физика: [учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по медицинским специальностям] /В. Г. Лещенко, Г. К. Ильич

– Рубин А.Б. Биофизика: в 2-х томах. Т.2. – Биофизика клеточных процессов: Учебник— М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2004. — 480 с.

– А. Камкин, И. Киселева Физиология и молекулярная биология мембран клеток 2008. 592 стр.

в) ресурсы сети Интернет:

– <https://postnauka.ru/video/70630> Открытая лекция молекулярного биолога Ричарда Хендерсона, платформа Постнаука

– <https://postnauka.ru/video/40273> Открытая лекция А.Я. Мулкиджанян, д.б.н., профессора факультета биоинженерии и биоинформатики, с МГУ им. М. В. Ломоносова. Биоэнергетические механизмы и их эволюция, платформа Постнаука

– <https://openedu.ru/course/msu/BIOPHY/> Открытый курс Биофизика. Максимов Г.В., д.б.н., профессор МГУ имени М.В. Ломоносова, Платформа Открытое образование

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.



Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **15. Информация о разработчиках**

Жаркова Любовь Петровна, к.б.н., доцент, кафедра физиологии человека и животных НИ ТГУ.