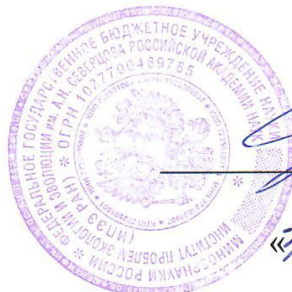


**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова  
Российской академии наук**



Утверждаю.  
Директор ИПЭЭ РАН

  
Найденко С.В.

«30» апреля 2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Цитогенетические методы в биологических исследованиях»**

*(наименование дисциплины)*

**Направление:**

1.5 Биологические науки

**Направленности:**

«Зоология», «Энтомология», «Ихтиология», «Экология», «Гидробиология»,  
«Паразитология»

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Москва, 2026 г.

## Аннотация

Дисциплина «Цитогенетические методы в биологических исследованиях» реализуется в рамках основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН) по группе специальностей «Биологические науки».

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: учебники, монографические издания, публикации, материалы конференций, симпозиумов, семинаров, интернет-ресурсы. Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет 72 академических часа (2 зачетных единицы). Дисциплина реализуется на 2 году обучения. Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная оценка знания осуществляется в форме зачета.

**Цель дисциплины:** обучение применению цитогенетических методов в биологических исследованиях.

**В результате изучения дисциплины «Цитогенетические методы в биологических исследованиях» аспирант должен достичь следующих результатов:**

### ***Знать:***

- основы цитогенетики, строение и функционирование митотических и мейотических хромосом, типы хромосомных перестроек и нарушений;
- подходы к работе с живыми объектами для получения цитогенетических данных в соответствии с этическими нормами, набор биологических характеристик живых объектов для успешного получения хромосомных образцов;
- методы классической цитогенетики, флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), иммунофлуоресцентного анализа, электронной микроскопии, цитогеномики, метод ДНК-комет (Comet Assay), целесообразность их применения для биологических исследований;
- возможности применения цитогенетических методов в таксономии и систематике;
- возможности применения цитогенетических методов для экологического мониторинга, биотестирования, генотоксикологии;
- возможности применения цитогенетических методов в контексте эволюционных исследований, подходы совместного анализа цитогенетических, филогенетических и геномных данных;
- принципы оформления цитогенетических данных для публикаций;

### ***Уметь:***

- проводить пробоподготовку, работать с хромосомными препаратами, получать и анализировать микроскопические изображения;
- анализировать результаты и готовить их для публикаций.

### ***Владеть:***

- навыками работы с хромосомными образцами и микроскопическими препаратами;
- навыками работы на микроскопах Axioplan 2 Imaging и Zeiss Axio Imager.M1 (Zeiss);
- навыками работы в специализированных хромосомных программах Ikaros и Isis (MetaSystems) ;
- принципами обработки результатов анализа.

**Структура дисциплины:**

| Вид занятий                      | Количество часов |
|----------------------------------|------------------|
| Лекции                           | 18               |
| Лабораторно-практические занятия | 18               |
| Самостоятельная работа           | 34               |
| Зачет                            | 2                |
| <b>ИТОГО</b>                     | <b>72</b>        |

**Содержание дисциплины:**

| № | Наименование темы (раздела)   | Краткое содержание темы (раздела)   |
|---|---|---|
| 1 | Основы цитогенетики   | История цитогенетики. Строение хромосом прокариот и эукариот. Типы хромосом. Хромосомные перестройки. Хромосомные нарушения. Клеточные деления: бинарное деление у прокариот, митоз и мейоз у эукариот. Интерфазное ядро. Понятие кариотипа.  |
| 2 | Методы классической цитогенетики  | Подходы к работе с живыми объектами для получения цитогенетических данных в соответствии с этическими нормами. Набор биологических характеристик живых объектов для успешного получения хромосомных образцов. Основные классические методы окрашивания митотических хромосом и целесообразность их использования в биологических исследованиях: рутинное окрашивание, С-окрашивание, AgNOR- окрашивание, G-окрашивание. Электронно-микроскопический анализ синаптонемных комплексов.            |
| 3 | Методы флуоресцентной гибридизации in situ (FISH), иммунофлуоресцентного анализа и цитогеномики       | Принципы и методология исследования хромосом с помощью FISH, иммунофлуоресцентного анализа и цитогеномики. Микродиссекция хромосом и создание полнохромосомных проб. Изучение блоков синтении, гетерохроматина и эухроматина, аутосом и В-хромосом, микрохромосом, половых хромосом. Изучение мейотических хромосом – синаптонемных комплексов – как индикатора изменчивости хромосом. Изучение мейотической рекомбинации и спаривания гомологичных хромосом. Изучение хромосом гибридных форм. |
| 4 | Метод ДНК-комет (Comet Assay)   | Comet Assay – метод на стыке цитогенетики и молекулярной биологии для анализа разрывов ДНК. Принцип метода. Вариации метода. Использование метода в биологических исследованиях.  |
| 5 | Применение цитогенетических методов в таксономии и систематике  | Цитогенетические данные как признак таксона. Кариосистематика. Разбор случаев, в которых хромосомные данные вносят существенный вклад в выделение и определение таксонов.   |
| 6 | Применение цитогенетических методов для экологического мониторинга, биотестирования, генотоксикологии | Комплекс цитогенетических индикаторов для оценки состояния организмов и окружающей среды: микроядра, хромосомные aberrации, сестринские хроматидные обмены, анализ нарушений в мейозе, Comet Assay. Использование в различных биологических исследованиях.  |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 7 | Применение цитогенетических методов в эволюционных исследованиях | Эволюция хромосом, кариотипов и геномов. Эволюция половых хромосом. Роль и эволюция В-хромосом. Подходы для совместного анализа цитогенетических, филогенетических и геномных данных. Разбор случаев, в которых цитогенетические данные вносят существенный вклад в изучение эволюции таксонов. |
|   | Зачет  |   |

### **Образовательные технологии**

Лекции, семинары, практические занятия в лаборатории, подготовка презентаций и выступлений.

### **Текущая и промежуточная аттестация.**

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме получения практических результатов по освоенным методикам и их оформления. Объектами оценивания выступают: активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий; степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими навыками по всем видам учебной работы, проводимым в рамках практических занятий и самостоятельной работы.

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в форме зачета. Аспирант допускается к зачету в случае выполнения всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется по система зачтено/не зачтено.

На зачете предлагается ответить на два вопроса из нижеприведенного списка.

### **Вопросы для зачета:**

1. Строение хромосом эукариот. Типы хромосом. Хромосомные перестройки и хромосомные нарушения.
2. Подходы к работе с живыми объектами для получения цитогенетических данных в соответствии с этическими нормами. Набор биологических характеристик живых объектов для успешного получения хромосомных образцов.
3. Рутинное окрашивание хромосом. Принципы и целесообразность получения первичных цитогенетических данных для изучаемого объекта.
4. Метод AgNOR-окрашивания хромосом. Принцип метода и его использование в биологических исследованиях.
5. Метод C-окрашивания хромосом. Принцип метода и его использование в биологических исследованиях.
6. Метод G-окрашивания хромосом. Принцип метода и его использование в биологических исследованиях.
7. Метод флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). Принцип метода и его использование в биологических исследованиях.
8. Иммунофлуоресцентный анализ. Принцип метода и его использование в биологических исследованиях. Иммунофлуоресцентный анализ синаптонемных комплексов.
9. Цитогеномика. Микродиссекция хромосом и создание полнохромосомных проб. Изучение блоков синтении.
10. Применение цитогенетических методов в таксономии и систематике.
11. Применение цитогенетических методов для экологического мониторинга, биотестирования, генотоксикологии.

## 12. Применение цитогенетических методов в эволюционных исследованиях.

### Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме экзамена

| Оценка     | Требования к знаниям и критерии выставления оценок  |
|------------|---|
| Не зачтено | Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание теоретических основ электронной микроскопии. Не информирован или слабо разбирается в проблемах пробоподготовки биологических объектов и/или не в состоянии получить изображение исследуемого объекта, не может провести энергодисперсионный микроанализ.  |
|            | Аспирант при ответе демонстрирует знания только основного материала по теории электронной микроскопии, фрагментарно понимает назначение основных методов электронной микроскопии, их возможности и ограничения. Не всегда может подобрать корректный метод пробоподготовки и условия получения изображения, а также интерпретировать результаты и изложить их в соответствии с общепринятыми стандартами.   |
| Зачтено    | Аспирант при ответе демонстрирует хорошие знания в области теоретических основ электронной микроскопии, владеет основными принципами пробоподготовки биологических объектов, понимает возможности и ограничения используемых методов. Может подобрать корректный режим получения изображения и выбрать оптимальные параметры микроскопа для проведения энергодисперсионного микроанализа в заданной ситуации, провести соответствующий анализ с использованием специализированного программного обеспечения, но не всегда в состоянии интерпретировать результаты и изложить их в соответствии с общепринятыми стандартами. |
|            | Аспирант при ответе демонстрирует хорошие знания в области теоретических основ электронной микроскопии, владеет основными принципами пробоподготовки биологических объектов, понимает возможности и ограничения используемых методов. Может подобрать корректный режим получения изображения и выбрать оптимальные параметры микроскопа для проведения энергодисперсионного микроанализа в заданной ситуации, провести соответствующий анализ с использованием специализированного программного обеспечения, самостоятельно интерпретировать результаты и изложить их в соответствии с общепринятыми стандартами.           |

### Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

#### Основная литература

1. Хромосомы. Структура и функции / Д. Е. Коряков, И. Ф. Жимулёв ; отв. ред. Л. В. Высоцкая ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т хим. биологии и фундаментальной медицины, Ин-т цитологии и генетики, М-во образования и науки, Федеральное агентство по образованию, Новосибирский гос. ун-т. - Новосибирск : Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2009. - 256, [1] с. : ил., цв. ил.; 25 см.; ISBN 978-5-7692-1045-7 (в пер.)
2. Ю.Ф. Богданов, О.Л. Коломиец. Синаптонемный комплекс - индикатор динамики мейоза и изменчивости хромосом. - М.: КМК, 2007. - 360 с.

3. Богданов Ю.Ф., Гришаева Т.М., Симановский С.А. Мейоз. Значение. Механизмы. Эволюция. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2024. 272 с., 70 ил.

#### Дополнительная литература

1. Arai R (2011) Fish karyotypes – a Check List. Springer, 340 pp. <https://doi.org/10.1007/9784-431-53877-6>
2. Fish Cytogenetic Techniques: Ray-Fin Fishes and Chondrichthyans. 2015. CRC Press, Boca Raton, 21–26. <https://doi.org/10.1201/b18534>
3. Atlas of Mammalian Chromosomes. 2020. Editor(s): Alexander S. Graphodatsky, Polina L. Perelman, Stephen J. O'Brien. John Wiley & Sons, Inc. Print ISBN:9781119418030. Online ISBN:9781119418061. DOI:10.1002/9781119418061

#### Базовые журналы:

- Chromosome Research (<https://link.springer.com/journal/10577>)
- Chromosoma (<https://link.springer.com/journal/412>)
- Cytogenetic and Genome Research (<https://karger.com/CGR>)
- Comparative Cytogenetics (<https://compcytogen.pensoft.net>)

#### Библиотечные и Интернет-ресурсы

| №  | Ссылка на информационный ресурс   | Наименование разработки в электронной форме        | Доступность (количество точек доступа) |
|----|---|--|--|
| 8  | <a href="http://www.nature.com/nature">http://www.nature.com/nature</a>                 | Nature   | 64                                     |
| 9  | <a href="http://www.nature.com/methods">http://www.nature.com/methods</a>               | Nature Methods                                     | 64                                     |
| 10 | <a href="http://www.webofknowledge.com">http://www.webofknowledge.com</a>               | Web of Science. Библиографическая база данных      | 64                                     |
| 11 | <a href="http://www.sciencedirect.com/science">http://www.sciencedirect.com/science</a> | ScienceDirect. База журналов издательства Elsevier | 64                                     |
| 12 | <a href="http://www.elsevier.com">http://www.elsevier.com</a>                           | Elsevier Поисковая система публикаций              | 64                                     |
| 13 | <a href="http://www.springerlink.com">http://www.springerlink.com</a>                   | SpringerLink. База журналов издательства Springer  | 64                                     |
| 14 | <a href="http://www.springer.com">http://www.springer.com</a>                           | Springer Поисковая система публикаций              | 64                                     |
| 15 | <a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>           | Wiley Электронная библиотека                       | 64                                     |
| 16 | <a href="http://www.sciencemag.org/journals">http://www.sciencemag.org/journals</a>     | Science/AAAS                                       | 64                                     |

#### Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Для проведения лекций и семинаров будет использована стандартно оборудованная лекционная аудитория ИПЭЭ РАН (компьютеры со специализированным программным обеспечением; проектор, сеть WiFi, ноутбуки).

Для проведения практических занятий будет использовано оборудование лаборатории экологического мониторинга регионов АЭС и биоиндикации: микроскопы, необходимые для анализа хромосом: AxioPlan 2 imaging и Axio Imager M1 (Carl Zeiss) со специализированным программным обеспечением для кариотипирования и флуоресцентного анализа (MetaSystems); стереомикроскоп Stemi 2000-C, необходимый для мелких манипуляций с лабораторными животными; центрифуги Awel MF20-R, кельвинатор DW-HL528 SA, другое лабораторное оборудование, необходимое для приготовления и окрашивания препаратов митотических и мейотических хромосом.

**Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.**

Библиотечные и Интернет-ресурсы, консультации с ведущими российскими и зарубежными специалистами в области цитогенетики.

**Язык преподавания:** русский.

**Преподаватель:** к.б.н. Сергей Анатольевич Симановский

Согласовано:

Зам. директора ИПЭЭ РАН по научной работе

А.В. Суров

Зав. аспирантурой

Е.С. Шварц