

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЦИТОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

---

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по научной  
работе ИИЦ РАН, д.б.н.

Скарлато С.О.

" \_\_\_\_\_ " 2014 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ КЛЕТОЧНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

**по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки**

Направленность подготовки 03.01.03 Молекулярная биология

Квалификация "Исследователь. Преподаватель-исследователь"

Форма обучения Очная

Вид промежуточной аттестации Дифференцированный зачет  
(Зачет/ Дифференцированный зачет/Экзамен)

Санкт-Петербург  
2014

Рабочую программу дисциплины в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки

06.06.01. Биологические науки

---

разработали:

д.б.н. Ю.А. Негуляев

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### Цель дисциплины:

Подготовка специалистов высшей квалификации для фундаментальной и прикладной науки в области молекулярной биологии, обладающих современными теоретическими знаниями в области о структуре и функциях ионных каналов клеточной мембраны, разнообразии ионных каналов, о заболеваниях, связанных с нарушением функционирования ионных каналов, способных формулировать научные и прикладные задачи для решения проблем молекулярной и клеточной биологии, нацеленных на совершенствование и развитие своего научного потенциала и своей личности.

### Основными задачами дисциплины являются изучение:

- теоретических основ ионных механизмов передачи сигнала с поверхности клетки через ионные каналы;
- структуры и функций ионных каналов клеточной мембраны, их разнообразия и физических свойств;
- формирование комплексного подхода в теоретическом и методическом освоении исследуемой тематики.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

2.1. Учебная дисциплина Ионные механизмы клеточной сигнализации относится к дисциплинам по выбору.

2.2. Трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетные единицы (з.е.) или 108 академических часа, в том числе 36 часа аудиторных занятий и 72 часа самостоятельной работы, контроль освоения дисциплины - дифференцированный зачет.

2.3. Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные аспирантами при изучении дисциплин по направлению Биологические науки на предшествующих этапах обучения..

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения учебной дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций (табл. 1):

Таблица 1

Формируемые учебной дисциплиной знания, умения, навыки

Код компетенции	Знания, умения, владения	
УК-1- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<i>Знать</i>	Теоретические основы биологии ионных каналов
	<i>Уметь</i>	На основе целостного, системного научного мировоззрения формулировать научные идеи, предлагать пути и методы реализации этих идей с привлечение философских и мировоззренческих знаний; представить полученные результаты, подтвердить их достоверность с помощью статистических методов, представить полученные результаты устно в виде стендового сообщения или устного доклада

ПК-2 - способность вскрыть физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их структурный и функциональный анализ	<i>Знать</i>	Современное состояние науки в области структуры и функционирования клеточных структур, обеспечивающих перенос ионов через клеточные мембраны, современные методические подходы, используемые при изучении ионного транспорта в клетках
	<i>Уметь</i>	Ориентироваться в научной литературе, отечественной и зарубежной, критически оценивать методы для решения экспериментальных задач.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы (модули) и темы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Трудоемкость по видам учебной работы (час.)						Формы самостоятельной работы *
		Всего	Очная форма обучения					
			ЛЗ	ПЗ	ЛР	С	К	
1.	<b>Ионные каналы клеточных мембран Введение.</b>	6	2				4	РЛ
2.	<b>Классическое описание каналов</b>	4	2				2	РЛ
3.	<b>Принципы и механизмы функционирования ионных каналов.</b>	4	2				2	РЛ
4.	<b>Ионные каналы в мембране клетки.</b>	4	2				2	РЛ
5.	<b>Экспериментальные процедуры. Электроника в патч-кламп измерениях.</b>	14	2	4			8	РЛ
6.	<b>Обработка результатов измерений Специальные методы работы с патч-кламп.</b>	16	2	4			10	РЛ
7.	<b>Применение метода патч-кламп для исследования ионных каналов в клетках.</b>	16	2	4			10	РЛ
8.	<b>Электрофизиологические процедуры для работы с ооцитами</b>	14	2	2			10	РЛ
9.	<b>Введение в статистический анализ записей тока через одиночные каналы.</b>	22	2	4			16	РЛ
	<b>Итоговый контроль: дифференцированный</b>	8					8	ПК

зачет.								
<b>Итого:</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>				<b>72</b>	

\*Формы самостоятельной работы: РЛ - работа с литературой; ПК- подготовка к дифференцированному зачету.

Примечание: ЛЗ – лекционное занятие, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторные работы, С – семинары, К – индивидуальные консультации, СР – самостоятельная работа обучающихся.

#### 4.2. Содержание лекционных занятий

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1.	Тема: <b>Ионные каналы клеточных мембран. Введение.</b> Ионные каналы – поры. Каналы и ионы необходимы для возбуждения Номенклатура каналов. Равновесный потенциал и уравнение Нернста Вольтамперные характеристики каналов. Ионная селективность Сигнализация и ионные потоки. Потенциал действия – регенеративная волна возрастания натриевой проницаемости. Прямое измерение токов с помощью фиксации напряжения.	2
2.	Тема: <b>Классическое описание каналов.</b> Выделение основных компонент токов. Ионные проводимости отражают изменение проницаемостей. Описания изменений проводимости в модели Ходжкина-Хаксли. Электровозбудимые натриевые и калиевые каналы в аксонах. Кальциевые каналы. Калиевые и хлорные каналы. Лиганд- управляемые каналы в синаптических передачах. Модуляция, медленные процессы в синапсах и вторичные посредники. Передача сигналов, транспорт ионов, кальциевый выброс, внутриклеточное связывание. Структура канальных белков.	2
3.	Тема: <b>Принципы и механизмы функционирования ионных каналов.</b> Элементарные свойства ионов в растворе. Элементарные свойства пор Прямое исследование элементарных канальных событий. Селективная проницаемость: принцип независимости. Селективная проницаемость: насыщение и связывание. Механизмы блока. Структура и функция. Модификаторы воротных процессов. Воротные механизмы. Клеточная биология и каналы. Эволюция и разнообразие. Каналы и болезни.	2
4.	Тема: <b>Ионные каналы в мембране клетки.</b> Потенциал покоя клеток. Ионные каналы это поры в мембране. Публикации по ионным каналам. Проведение нервного импульса. Токи и специфические блокаторы каналов. Токсины животного и растительного происхождения. Биофизическое тестирование селективных фильтров и ворот. Первые “картинки” ионных каналов. Бактериальный калиевый канал. Ионный канал имеет много разных частей. Три нервных сигнала. Химический синапс. Движение ионов создает электрические сигналы в нервных клетках. Что	2

	<p>происходит если при распространении потенциала действия натриевых каналов откроется слишком много, или калиевых каналов очень мало. Мутации каналов ведут к болезням. Закон Ома и вольт-амперная характеристика. Емкость мембраны определяет сколько зарядов нужно переместить для того, чтобы изменить мембранный потенциал. Эквивалентная электрическая схема мембраны клетки. Источники ошибок Особенности культивирования клеток для электрофизиологических экспериментов. Регистрация одиночных каналов, встроенных в искусственные липидные бислои.</p>	
5.	<p><b>Тема: Экспериментальные процедуры. Электроника в патч-кламп измерениях.</b>          Подготовка эксперимента. Формирование сверхплотного контакта. Регистрация одиночных каналов. Регистрация от целой клетки.          1. Операционные усилители.          2. Обратимые электроды.          3. Ввод информации в компьютер.          4. Кондиционирование сигналов. Усиление. Фильтрация. Аналого-цифровое преобразование. Цифро-аналоговое преобразование</p>	6
6.	<p><b>Тема: Обработка результатов измерений. Специальные методы работы с патч-кламп.</b>          Перфорированный патч. Сканирующая микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Сканирующая ионная микроскопия. Измерения концентрации ионов внутри клетки. Микроскопы.          Флуоресцентная микроскопия. Микроскопы проходящего света. Микроскопы падающего света. Конфокальная микроскопия.          Приемники света:          1. Фотоумножители          2. CCD камеры          Электронно-оптические преобразователи: Источники света:          1. Лампы: ксеноновая, ртутная          2. Лазеры: аргоновый ионный (Ar), криптоновый (Kr), фиолетовый 405, гелий-неоновый (He-Ne), гелий-кадмиевый (He-Cd), криптон-Аргоновый (Kr-Ar).          Спектральные характеристики ламп: возбуждение и эмиссия, флуоресценция.          Фильтры:          обычный полосовой (Band Pass) фильтр, стандартный фильтр (Long Pass), цветоделительные пластинки (dichroic mirror) под углом 45 градусов.          Свойства фильтров: пропускание света.          Флуоресцентный микроскоп: probes for Proteins, DNA Probes, probes for Ions.</p>	6
7.	<p><b>Тема: Применение метода патч-кламп для исследования ионных каналов в клетках.</b>          Введение в патч-кламп технологию. Варианты патч-кламп. Применение, преимущества, проблемы. Специальные приемы. Установки для патч-кламп метода. Механика. Оптика. Микроманипуляции. Усилители. Стимуляторы. Обработка данных, анализ. Геометрические параметры пипеток и мембранные фрагменты. Научные и технологические аспекты изготовления пипеток для регистрации токов. Устройства для вытягивания пипеток. Микрокузницы для пипеток. Стеклообразующие капилляры. Вытягивание микропипеток. Нанесение защитного покрытия. Полировка кончиков. Использование пипеток. Держатели для пипеток. Электроды сравнения. Техника для измерения емкости клеточной</p>	6

	мембраны. Отведение сигналов от сомы, дендритов и аксонов нейронах на срезах мозга. Совмещение патч-кламп технологии и флуоресцентных измерений концентрации ионов в цитоплазме клеток. Простые детекторные системы на базе фотоумножителей. Системы для регистрации внутриклеточного кальция с обработкой изображения. Патч-кламп и конфокальная микроскопия. Процедуры для работы с внутриклеточными флуоресцентными индикаторами ионов. Быстрое приложение агонистов к изолированным мембранным фрагментам. Электрохимическое детектирование секреции в отдельных клетках. Принципы. Установки. Экспериментальные процедуры и анализ.	
8.	Тема: <b>Электрофизиологические процедуры для работы с ооцитами.</b> Система для экспрессии на ооцитах. Процедуры и технологии. Приложения. Перспективы применения ионного сканирующего микроскопа в исследовании ионных каналов.	4
9.	Тема: <b>Введение в статистический анализ записей тока через одиночные каналы.</b> Сбор данных. Фрагменты записей и постоянная запись. Фильтрация сигналов. Оцифровка сигналов. Детектирование событий, связанных с работой канала. Выбор характеристик фильтра. Установка порога детектирования. Практический дизайн для анализа. Характеристики открывания одиночных каналов. Анализ по уровню половины амплитуды. Непосредственное определение развития тока во времени. Характеристика событий с помощью компьютера. Представление характеристик канала. Гистограммы и функции распределения вероятностей. Предсказание незарегистрированных событий. Распределения амплитуд. Распределение времен открытого и закрытого состояний. Распределение пачечных событий. Аппроксимация распределений.	6

#### 4.3. Перечень тем лекционных занятий

№ п/п	Наименование темы	Трудоемкость, ч.	Формируемые компетенции	Методы преподавания
1.	<b>Ионные каналы клеточных мембран Введение.</b>	6	УК-1, ПК-2	Чтение лекций с использованием презентаций
2.	<b>Классическое описание каналов</b>	4		
3.	<b>Принципы и механизмы функционирования ионных каналов.</b>	4		
4.	<b>Экспериментальные процедуры. Электроника в патч-кламп измерениях.</b>	14		
5.	<b>Обработка результатов измерений Специальные методы работы с патч-кламп.</b>	16	УК-1, ПК-2	чтение лекций с использованием
6.	<b>Применение метода патч-кламп для</b>	16		нием

	<b>исследования ионных каналов в клетках.</b>		презентаций
<b>7.</b>	<b>Применение метода патч-кламп для исследования ионных каналов в клетках.</b>	16	
<b>8.</b>	<b>Электрофизиологические процедуры для работы с ооцитами</b>	14	
<b>9.</b>	<b>Введение в статистический анализ записей тока через одиночные каналы.</b>	22	

#### 4.4. Содержание тем практических занятий, лабораторных работ

№ п/п	Наименование темы	Трудоемкость в ч.	Формируемые компетенции	Методы преподавания
<b>1.</b>	<b>Экспериментальные процедуры. Электроника в патч-кламп измерениях.</b>	4	УК-1, ПК-2	ПЗ
<b>2</b>	<b>Специальные методы работы с патч-кламп.</b>	4		ПЗ
<b>3.</b>	<b>Применение метода патч-кламп для исследования ионных каналов в клетках.</b>	4		ПЗ
<b>4</b>	<b>Электрофизиологические процедуры для работы с ооцитами</b>	2		ПЗ
<b>5.</b>	<b>Введение в статистический анализ записей тока через одиночные каналы.</b>	4		ПЗ

#### 4.5. Перечень заданий для самостоятельной работы

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов	Формируемые компетенции
1.	Мутации каналов и заболевания человека.	4	УК-1, ПК-2
2.	Статистический анализ тока, проходящего через одиночные Na <sup>+</sup> -каналы, одиночные K <sup>+</sup> - каналы.	8	
3.	Подготовка к практическим занятиям.	10	
4.	Работа с лекционным материалом и литературой, подготовка к дифференцированному зачету.	50	

### 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по дисциплине

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточный контроль в виде дифференцированного зачета с оценкой.

#### 5.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине.



Контрольные мероприятия текущего контроля тестирование аспирантов по темам дисциплины.

## 5.2. Оценочные средства промежуточной аттестации.

Контроль знаний аспирантов осуществляется в форме дифференцированного зачета с оценкой, по результатам тестирования.

Тестовые задания:

### 1. Ионные каналы - это:

Дефекты в липидном бислое.

Поры, образованные канальными белками

Обобщенное наименование комплекса интегральных белков, вовлеченных в транспорт ионов.

Транслоказы.

### 2. Ионные каналы находятся:

В плазматической мембране клетки

В митохондриях

В клеточных органеллах

Во всех перечисленных отделах клетки

### 3. Использование модельных липидных мембран для изучения ионных каналов является предпочтительным в случаях:

Если исследуемые каналы находятся в клеточных органеллах или митохондриях

Если исследуемые каналы находятся в плазматической мембране

При изучении апоптоза клеток.

При изучении роли вторичных посредников в передаче сигнала.

### 4. Метод патч кламп используется:

для исследования липидных бислоев

для исследования ионных каналов в плазматической мембране клеток.

для исследования митохондриальных белков

изучения пролиферативной активности клетки

### 5. Движение ионов по каналам осуществляется:

По электрохимическому градиенту

За счет использования энергии АТФ

За счет энергии, высвобождаемой при отделении иона от гидратной оболочки перед входением в канал.

За счет броуновского движения

### 6. Метод отношений в флуоресцентных измерениях концентрации ионов используется:

Для того чтобы избежать влияния нестабильности источника света

Для того чтобы избавиться от нестабильности сигнала, обусловленной выгоранием флуорофора

Для увеличения отношения сигнал-шум

Для того чтобы (а) избежать влияния нестабильности источника света и (б) избавиться от нестабильности сигнала, обусловленной выгоранием флуорофора

### 7. Метод отведения cell-attached в патч-кламп измерениях используется для:

Измерения интегральных токов через плазматическую мембрану клетки.

Для регистрации унитарных токов через фрагмент плазматической мембраны нативной клетки.

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда цитоплазматическая сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда наружная сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры.

#### **8. Метод отведения outside-out в патч-кламп измерениях используется для:**

Измерения интегральных токов через плазматическую мембрану клетки

Для регистрации унитарных токов через фрагмент плазматической мембраны нативной клетки

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда цитоплазматическая сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда наружная сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры.

#### **9. Метод отведения whole cell в патч-кламп измерениях используется для:**

Измерения интегральных токов через плазматическую мембрану клетки

Для регистрации унитарных токов через фрагмент плазматической мембраны нативной клетки

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда цитоплазматическая сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда наружная сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

#### **10. Метод отведения inside out в патч-кламп измерениях используется для:**

Измерения интегральных токов через плазматическую мембрану клетки

Для регистрации унитарных токов через фрагмент плазматической мембраны нативной клетки.

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда цитоплазматическая сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

Для регистрации унитарных токов через изолированный фрагмент мембраны когда наружная сторона мембраны экспонируется в раствор перфузионной камеры

#### **11. Для проведения измерений токов в клетках на срезах мозга используется:**

Инвертированный микроскоп

Неинвертированный микроскоп

Бинокулярная лупа

Атомно-силовой микроскоп

#### **12. Изучение ионных механизмов клеточной сигнализации базируется на исследованиях:**

Ионных каналов

Транспортеров и обменников

Систем активного транспорта

Всех перечисленных систем

#### **13. Кальциевый выброс из эндоплазматического ретикулума в невозбудимых клетках:**

Происходит под воздействием вторичного посредника инозитол-3-фосфата.

Является следствием поступления кальция через кальциевые электровозбудимые каналы в плазматической мембране клетки  
Происходит за счет активации кальциевого обменника плазматической мембраны  
Происходит при активации активного транспорта натрия

**14. Кальциевый выброс из внутриклеточных депо в кардиомиоцитов:**

Происходит под воздействием вторичного посредника инозитол-3-фосфата  
Является следствием поступления кальция через кальциевые электровозбудимые каналы в плазматической мембране клетки  
Происходит за счет активации кальциевого обменника плазматической мембраны.  
Происходит при активации активного транспорта натрия

**15. Основные компоненты установки для измерения токов через мембраны клеток:**

Виброизолирующий стол с установленным на нем микроскопом, микроманипуляторы, преобразователь ток-напряжение, усилители и фильтры для кондиционирования сигналов, аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи и компьютер с установленным программным обеспечением  
Виброизолирующий стол с установленным на нем микроскопом, ультрацентрифуга и компьютер с установленным программным обеспечением  
Достаточно флуоресцентного микроскопа.  
Преобразователь ток-напряжение

**16. При измерении токов с помощью фиксации напряжения, выделение основных компонент токов производится:**

С использованием природных токсинов  
Путем замены ионов - основных носителей тока  
С использованием фармакологических препаратов  
Путем замены ионов основных носителей тока, с использованием селективных фармакологических препаратов или токсинов природного происхождения

**17. Наиболее существенным моментов при измерении унитарных токов через фрагменты клеточных мембран является:**

Использование препаратов для очистки плазматической мембраны  
Наличие виброизолирующего стола  
Наличие чувствительного преобразователя ток-напряжение  
Образование сверхплотного контакта между измерительной пипеткой и клеточной мембраной

**18. Описания изменений проводимости в модели Ходжкина-Хаксли основано:**

на допущении о существовании специализированных канальных структур  
на открытии структуры кальциевого канала  
на предположении о наличии диффузии воды через плазматическую мембрану при изменении мембранного потенциала  
на допущении о существовании потенциала покоя клетки

**19. Обратимые электроды, используемые в патч-кламп измерениях:**

Каломельный электрод  
Хлорсеребряный  
Кислородный  
Платиновый

**20. Электрофизиологическая оценка канала включает в себя:**

Амплитудные гистограммы и функции распределения вероятностей  
Распределение времен нахождения канала в открытом и закрытом состоянии  
Вольт-амперные характеристики  
Амплитудные гистограммы, Распределение времен нахождения канала в открытом и закрытом состоянии, вольт-амперные характеристики

**21. Работа ионного сканирующего микроскопа основана на:**

взаимодействии измерительной пипетки с плазматической мембраной клетки  
регистрации разности электрических потенциалов между внутренней и наружной стороной клеточной мембраны  
измерении электрического сопротивления измерительной пипетки, находящейся вблизи поверхности клетки  
взаимодействии фотонов с молекулами липидного бислоя плазматической мембраны клетки.

**22. Электрическая емкость клеточной мембраны определяет:**

сколько зарядов нужно переместить для того, чтобы изменить мембранный потенциал  
потенциал покоя клетки  
скорость распространения потенциала действия  
Распределение ионов между наружной и внутренней стороной плазматической мембраны

**23. Что происходит, если при распространении потенциала действия откроется слишком много натриевых каналов, или очень мало калиевых каналов?**

Произойдет увеличение амплитуды потенциала действия  
Произойдет уменьшение амплитуды потенциала действия  
Нарушится скважность импульсов, возникнет аритмия  
Ничего существенного с точки зрения проведения нервного импульса не произойдет

**24. Основные механизмы рецептор-зависимой трансмембранной передачи сигнала:**

Лиганд-управляемые олигомерные ионные каналы.  
Лиганд-управляемые трансмембранные ферменты, обладающие собственной тирозинкиназной активностью  
Рецепторы, связанные с G-белками  
Все вышеперечисленные механизмы

**25. На постсинаптической мембране клеток находятся:**

Электровозбудимые каналы.  
Лиганд-управляемые каналы  
Механочувствительные каналы  
Кальциевый обменник

По результатам сдачи тестов аспирантам выставляется зачет с оценкой.

Результаты дифференцированного зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»

- для оценки «отлично» необходимо наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала;
- для оценки «хорошо» - наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, минимальное количество ошибки тестирования;
- для оценки «удовлетворительно» - наличие твердых знаний пройденного материала, не более 50% ошибок при тестировании;
- для оценки «неудовлетворительно» - наличие грубых ошибок при тестировании, непонимание сущности пройденного материала.

## **6. Образовательные технологии по дисциплине**

**6.1.** В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

- лекции;
- практические занятия.

1. Лекции сопровождаются визуальным материалом в виде презентаций с использованием компьютерной презентационной программы Power Point).
2. На практических занятиях аспиранты знакомятся с методами исследования ионных каналов.

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

### **7.1. Основная литература**

1. *Альбертс Б., Джонсон А., Льюис Б.* Молекулярная биология клетки. М.: Изд-во Мир, 2013. 2764 с.
2. *Hille D.* Ionic Channels of Excitable Membranes. М: Изд-во Sunderland Mass. USA, 2001. 788p.
3. *Behrens de J.C., Fertig N.* Planar Patch Clamping, Neuromethods. 2002.

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. *Комаров С.А.* Клеточная биология. Учебное пособие. УМО Техническая физика. СПб: Из-во СПбГПУ, 2011. 198 с.
2. The Axon Guide for Electrophysiology, Biophysics: Laboratory Techniques. 2002.  
[http://www.Moleculardevices.com/pages/instruments/axon\\_guide.html](http://www.Moleculardevices.com/pages/instruments/axon_guide.html)
3. Microelectrode techniques: The Plymouth workshop handbook, 1994. <http://www.Utdallas.edu/tres/microelectrode/me.html>
4. *García-Giménez E., Alcaraz A., Aguilera M.* Divalent Metal Ion Transport across Large Biological Ion Channels and Their Effect on Conductance and Selectivity. Biochemistry Research International. 2012. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/245786>.  
<http://www.hindawi.com/journals/bri/2012/245786/>

### **7.3. Электронные ресурсы:**

- <http://www.nature.com/nature>
- <http://www.nature.com/methods>
- <http://www.nature.com/materials>
- <http://www.nature.com/nanotechnology>
- <http://www.nature.com/biotechnology>
- <http://www.publ.asc.org>
- <http://www.annualreviews.org>
- <http://www.oxfordjournals.org>
- <http://www.tandf.co.uk/journals/>
- <http://www.springerlink.com>
- <http://www.sciencedirect.com/science>

### **7.4. Электронные образовательные ресурсы:**

1. Научная электронная библиотека e-Library
2. [www.e-science.ru](http://www.e-science.ru) – портал естественных наук, теоретическая база по биологии (бесплатный ресурс)

### **7.5. Электронно-образовательные ресурсы свободного доступа:**

1. Федеральный портал "Российское образование" – <http://www.edu.ru/>

2. Национальная педагогическая энциклопедия – <http://didacts.ru>
3. Единое окно доступа к образовательным ресурсам/Федеральный портал – <http://window.edu.ru/>
4. Портал естественных наук, теоретическая база по биологии – [www.e-science.ru](http://www.e-science.ru)
5. Российская государственная библиотека – <http://www.rsl.ru>
6. Научная библиотека СПбГУ – <http://www.library.spbu.ru>
7. ЭБС издательства Лань – <http://e.lanbook.com>

#### **8. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины**

1. Чтение курса лекций осуществляется в учебной аудитории или малом конференц-зале Института цитологии РАН.
2. Преподаватель может использовать компьютер ACER Model ZL1 с приставкой In FOCUS Model LP70 и любое иллюстративное оборудование, которым располагает Институт цитологии РАН.
3. Чтение лекций осуществляется с использованием интерактивной презентации авторской разработки.
4. Практические занятия проводятся в лаборатории ионных механизмов клеточной сигнализации ИНЦ РАН.
4. Фонды Библиотеки РАН.