Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Согласовано
Декан ФФ
_____Резников В.А.
подпись
«___» _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ II: ЭВОЛЮЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

направление подготовки: 06.04.01 Биология
направленность (профиль): Информационная биология

Форма обучения: очная

Разработчики:

к.ф.-м.н. Титов И.И. _____

Зав.каф. информационной биологии
академик РАН, Колчанов Н.А. _____

Руководитель программы:

д.б.н., профессор, Шестопалова Л.В.. _____

Новосибирск, 2020

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося 5

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5

5. Перечень учебной литературы 8

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .. 8

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины 8

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине 8

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине 9

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине 9

Приложение 1 Аннотация по дисциплине

Приложение 2 Оценочные средства по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	В результате изучения дисциплины обучающиеся должны:		
	знать	уметь	владеть
ОПК -3 Готовность использовать фундаментальные биологические представления в сфере профессиональной деятельности для постановки и решения новых задач	- принципы строения сложных систем, их динамические свойства, обусловленные структурными особенностями и, на основе этого, их эволюцию		- навыками самостоятельного анализа имеющейся информации
ОПК-6 Способность использовать знание основ учения о биосфере, понимание современных биосферных процессов для системной оценки геополитических явлений и прогноза последствий реализации социально значимых проектов	- основные классы существующих генетических алгоритмов, основные классы стохастических сетей, общие принципы их структурно-функциональной организации, их основные механизмы и пути эволюции		- навыками прогнозирования последствий реализации социально-значимых проектов
ОПК-7 Готовность творчески применять современные компьютерные технологии при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче биологической информации для решения профессиональных задач	- принципы и методы моделирования биологических процессов и способы оценки корректности разработанных моделей	- объяснять качественное поведение генетических алгоритмов, пользуясь представлениями популяционной генетики и теории адаптивных ландшафтов	- приемами моделирования биологических процессов, а также способами оценки валидности разработанных моделей
ОПК-9 Способность профессионально оформлять, представлять и докладывать результаты научно-		- проводить литературный поиск методов анализа структурно-функциональной организации сетей,	

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	В результате изучения дисциплины обучающиеся должны:		
	знать	уметь	владеть
исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам		- оценивать пригодность и эффективность использования тех или иных приемов подачи результатов исследовательской деятельности	
ПК-4 Способность генерировать новые идеи и методические решения	- методические основы проектирования и выполнения биологических исследований	- устанавливать строение сетей с применением современных статистических методов анализа	- владения приемами и методами для выполнения и решения новых идей
ПК-8 Способность планировать и проводить мероприятия по оценке состояния и охране природной среды, организовать мероприятия по рациональному природопользованию, оценке и восстановлению биоресурсов		- предсказывать качественное поведение генетических алгоритмов, пользуясь представлениями популяционной генетики и теории адаптивных ландшафтов	

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплины (практики), изучение которых необходимо для освоения дисциплины **Эволюционная биология II: эволюция сложных систем**:

- Физическая химия.
- Физика.
- Математический анализ.
- Высшая алгебра.
- Иностранный язык.
- Генетика.
- Математическая статистика.

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо для освоения дисциплины **Эволюционная биология II: эволюция сложных систем**:

- Организация и функционирование молекулярно-генетических систем III: Методы анализа генетических текстов.
- Организация и функционирование молекулярно-генетических систем IV: генные сети.
- Современные проблемы биологии: биоинформатика структур макромолекул.

- Математические основы системной биологии: моделирование молекулярно-генетических систем.

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Трудоемкость дисциплины – 2 з.е. (72 ч)
Форма промежуточной аттестации: 3 семестр –экзамен

№	Вид деятельности	Семестр
		3
1	Лекции, ч	22
2	Практические занятия, ч	8
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч., из них	34
5	из них аудиторных занятий, ч	30
6	в электронной форме, ч	
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час	38
10	Всего, ч	72

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

3 семестр

Лекции (22 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Раздел 1 Введение	
1. Понятие сложной системы. Число элементов, нелинейность взаимодействий и коллективное поведение в сложных системах. Порядок и хаос. Количественные определения сложности в фундаментальных науках. Эмержентность и редукционизм	0,5
2. Основы статистического описания. Детерминизм и случайность. Увеличение сложности описания при росте размера системы. Большие системы как предмет статистики. Статистические и динамические закономерности. Понятие фазового пространства. Фазовые траектории. Вероятность. Статистические распределения. Статистическое усреднение. Распределение Гиббса. Эргодическая гипотеза.	0,5
3. Основы статистического описания динамики многочастичных систем. Равновесие, кинетика, время релаксации. Квазизамкнутые подсистемы. Статистическая независимость. Флуктуации. Убывание относительных флуктуаций аддитивных величин при росте размера системы. Неполное равновесие. Обратимые и необратимые процессы. Закон возрастания энтропии. Распределение Гаусса. Распределение Пуассона.	1
Раздел 2 Введение в генетические алгоритмы (ГА)	

1. Общие понятия генетических алгоритмов. Виды целевых функций и связь с ландшафтом оптимизации. Нерегулярные ландшафты. Основные методы оптимизации	0,5
2. История, особенности и области применения ГА. Отображение фенотип-генотип и его вырожденность. Аддитивные и неаддитивные функции приспособленности. Эпистатические взаимодействия.	0,5
3. Генетические операторы. Мутации. Рекомбинации. Отбор. Многообразие реализаций ГА. Качественная динамика на примере расчёта вторичной структуры РНК. Проблема сходимости. Преждевременное вырождение популяции. Настройка параметров. Архитектура адаптивных ландшафтов и динамика ГА.	1
4. Теоретическое описание генетических алгоритмов. Понятие схемы. Геометрическая интерпретация схем. Основная теорема ГА. Накопление схем. Катастрофа ошибок. Определение преобразования Уолша.	1
5. Модельные примеры ГА. Об использовании в ГА аналогий из теории молекулярной эволюции и популяционной генетики. Ступенчатый ландшафт как качественный пример для моделирования ГА.	1
6. ГА на ступенчатом адаптивном ландшафте. Ступенчатый адаптивный ландшафт как результат сегментации генотипа на блоки и блочной функции приспособленности. Вычисление числа нейтральных состояний. Метастабильность, нейтральный дрейф, инновации, эпохи на ступенчатом ландшафте. Энтропийные барьеры и барьеры приспособленности.	1
7. Качественная картина динамики ГА на ступенчатом адаптивном ландшафте. Формальные определения: распределение по состояниям, оператор перехода как произведение генетических операторов. Вычисление вероятности мутационного перехода между соседними ступеньками в приближении типа среднего поля. Обобщение на произвольные переходы. Явный вид оператора отбора. Уравнение динамики ГА.	1
8. Результаты компьютерного моделирования, зависимости от параметров ГА на ступенчатом адаптивном ландшафте. Рассмотрение динамики ГА в пределе низкой интенсивности мутаций. Разложение в этом пределе операторов и собственных чисел. Разделение популяции на квазивиды. Длительность эпох и времена перехода между эпохами. Флуктуации. Катастрофа ошибок.	1
9. Критерии сходимости ГА к глобальному оптимуму. Практическое значение критерия сходимости ГА к глобальному оптимуму. Роль эпистатических взаимодействий. Статические и динамические критерии. Корреляция расстояния и приспособленности. Контрпример.	1
Раздел 3 Введение в теорию стохастических сетей	
1. Статистическое описание сетей. Основные одно- и двухчастичные характеристики. Определение и свойства производящей функции. Расчёт простейших статистических характеристик графов с помощью одновершинных производящих функций G0. Расчёт статистических характеристик графов с помощью G1. Выявление функциональных модулей. Кластерный анализ. Поиск мотивов. Понятие о пуассоновских и безмасштабных сетях.	2
2. Логические генные сети. Логические модели генных сетей. Синхронные и асинхронные, вероятностные и детерминистские сети. Синхронные булевские сети. Оценки числа булевских функций, числа	1

направленных графов и числа синхронных булевских сетей. Вырождение структур. Динамика синхронной булевской сети.	
3. N-к модель Кауфманна. Устойчивость динамических траекторий, хаос и детерминизм в динамике сетей. Расчёт эволюции отклонения от начального состояния в приближении типа эффективной среды для сбалансированных булевских функций. Критерий возникновения хаоса в сбалансированной N-к модели. Фазовая диаграмма для несбалансированных N-к сетей. Число аттракторов.	2
4. Стохастические синхронные булевы сети. Эргодические ряды.	1
5. Структура, динамика и эволюция безмасштабных сетей. Примеры природных безмасштабных сетей. Особенности структуры безмасштабных сетей. Динамика безмасштабной сети как проявление характерной структуры. Устойчивость сети к случайным и направленным повреждениям. Механизмы происхождения безмасштабной сети.	1
6. Малые миры. Аналитически решаемая модель малого мира в виде кольца с перемычками. Автомодельные решения.	1
Раздел 4 Дополнительные главы эволюции сложных систем	
1. Общество как сложная адаптивная система. Сложные адаптивные системы в социобиологии, социологии, экономике, лингвистике. Коэволюция генов и культуры.	1
2. Формализм теории игр для описания взаимодействия интеллектуальных агентов. Теория игр. Равновесие Нэша. Эволюционно устойчивые стратегии.	1
3. Применение математической лингвистики в биоинформатике . Марковские цепи, скрытые марковские модели, стохастические и безконтекстные стохастические грамматики. Применение лингвистических методов для анализа генетических текстов. Природные и искусственные языки. Теории происхождения природных языков. Применение методов биоинформатики для изучения эволюции природных языков. Модели достижения общественного консенсуса.	1
4. Бионанотехнологии. Обратная задача фолдинга и компьютерный дизайн РНК. ДНК-компьютеры. ДНК-роботы.	1

Практические занятия (8 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Решение задач по разделам 1, 2, 3, 4	5
Коллоквиумы	3

Самостоятельная работа студентов (38 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	20
Подготовка к коллоквиумам	12
Подготовка к экзамену (зачету/дифференцированному зачету/)	6

5. Перечень учебной литературы

5.1 Основная литература

1. Goldberg, D., Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley, San Mateo, CA, 1989.
2. E. van Nimwegen, J.P. Crutchfield and M. Mitchell Statistical Dynamics of the Royal Road Genetic Algorithm. Theoretical Computer Science (1998)
3. L. Altenberg. (1997) Fitness Distance Correlation Analysis: An Instructive Counterexample.

5.2 Дополнительная литература

4. Forrest, S., 1993, Science, 261, 872.
5. M. E. J. Newman, S. H. Strogatz, and D. J. Watts Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications Phys. Rev. Lett. (2001).
6. M. E. J. Newman, C. Moore, and D. J. Watts. (2000) Mean-Field Solution of the Small-World Network Model. Phys. Rev. Lett. 84 (14) 3201-3204.
7. Sawhill, B.K., Kauffman, S.A.: Phase transitions in logic networks. Santa Fe Institute Working Paper 97-05-038. 1997.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

7. Титов И.И. эволюция сложных систем. http://kib.nsu.ru/?page_id=568.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту.

7.1 Современные профессиональные базы данных:

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1 Перечень программного обеспечения

ОС Windows и MicrosoftOffice

8.2 Информационные справочные системы

Не используются

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины **Эволюционная биология II: эволюция сложных систем** используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень результатов обучения по дисциплине **Эволюционная биология II: эволюция сложных систем** и индикаторов их достижения представлен в виде знаний, умений и владений в разделе 1.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущая аттестация по дисциплине «Эволюционная биология II: эволюция сложных систем» является контроль посещаемости занятий, выполнения домашних заданий и сдача коллоквиумов.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация по дисциплине включает 3 этапа:

1) сдача отчетов о выполнении домашних заданий,
2) три коллоквиума по разделам курса,
2) экзамен.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине **Эволюционная биология II: эволюция сложных систем**

Таблица 10.1

Код компетенции	**Результат обучения по дисциплине**	**Оценочное средство**
ОПК -3	Знание принципов строения сложных систем, их динамических свойств, обусловленных структурными особенностями и, на основе этого, об их эволюции	Коллоквиум Экзамен

	Владение навыками самостоятельного анализа имеющейся информации	Коллоквиум
ОПК-6	Знание основных классов существующих генетических алгоритмов, основных классов стохастических сетей, общих принципов их структурно-функциональной организации, их основных механизмов и путей эволюции	Коллоквиум Экзамен
	Владение навыками прогнозирования последствий реализации социально-значимых проектов	Коллоквиум Экзамен
ОПК-7	Знание принципов и методов моделирования биологических процессов и способов оценки корректности разработанных моделей	Экзамен
	Умение объяснять качественное поведение генетических алгоритмов, пользуясь представлениями популяционной генетики и теории адаптивных ландшафтов	Коллоквиум Экзамен
	Владение приемами моделирования биологических процессов, а также способами оценки валидности разработанных моделей	Коллоквиум
ОПК-9	Умение проводить литературный поиск методов анализа структурно-функциональной организации сетей,	Коллоквиум
	Умение оценивать пригодность и эффективность использования тех или иных приемов подачи результатов исследовательской деятельности	Коллоквиум
ПК-4	Знание методических основ проектирования и выполнения биологических исследований	Экзамен
	Умение устанавливать строение сетей с применением современных статистических методов анализа	Коллоквиум
	Владение приемами и методами для выполнения и решения новых идей	Коллоквиум
ПК-8	Умение предсказывать качественное поведение генетических алгоритмов, пользуясь представлениями популяционной генетики и теории адаптивных ландшафтов	Коллоквиум Экзамен

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	**Шкала оценивания**
<u>Коллоквиум</u> – обоснованность теоретическим и фактическим материалом, подкрепленным ссылками на научную литературу и источники, – корректность и адекватность выбранных методов анализа сложных систем и их интерпретации,	*Отлично*

– полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – полнота раскрытия темы. **Экзамен:** – владение теоретическим и фактическим материалом, подкрепленным ссылками на научную литературу и источники, – полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	
Коллоквиум : – обоснованность теоретическим и фактическим материалом, подкрепленным ссылками на научную литературу и источники, – неполнота реализации выбранных методов анализа сложных систем и их интерпретации, – полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – полнота раскрытия темы. **Экзамен:** – обоснованность теоретическим и фактическим материалом, подкрепленным ссылками на научную литературу и источники, – полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	*Хорошо*
Коллоквиум : – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа сложных систем и их интерпретации, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – фрагментарность раскрытия темы. **Экзамен:**	*Удовлетворительно*

– теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	
<u>Коллоквиум</u> : – отсутствие теоретического и фактического материала, подкрепленного ссылками на научную литературу и источники, – отсутствие анализа сложных систем и их интерпретации, – непонимание причинно-следственных связей, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – фрагментарность раскрытия темы. **<u>Экзамен:</u>** – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	*Неудовлетво-рительно*

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Критерий глобальной оптимизации и катастрофа ошибок на простейшем примере ГА.

Рассмотреть адаптивный ландшафт из 4х состояний (00, 01, 10, 11), где 00 и 11 - оптимальны. Прямые переходы между оптимальными состояниями запрещены. Переходы между состояниями происходят с заданной частотой исключительно благодаря рекомбинациям 00+11<->01+10. Пропорциональный отбор.

Записать систему кинетических уравнений для эволюции населённостей состояний. Найти стационарные решения. Исследовать устойчивость стационарных решений. Найти критерий глобальной оптимизации.

Моделирование переходной динамики ГА.

Получить кинетическое уравнение для ГА на ступенчатом адаптивном ландшафте. Вычислить время перехода между эпохами.

Возникновение гигантской компоненты в графе со случайно-равномерным добавлением рёбер.

В приближении типа эффективной среды вывести уравнение для вероятности принадлежности вершины гигантской компоненте. Получить критерий образования гигантской компоненты графа. Построить график роста гигантской компоненты в зависимости от связности графа.

Возникновение малого мира в модельном графе.

В приближении эффективной среды вывести уравнение роста среднего расстояния в кольце с перемычками. Получить автомодельное решение. Построить график зависимости диаметра графа от числа перемычек.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Лист актуализации рабочей программы дисциплины
«Эволюционная биология II: эволюция сложных систем»

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Ученого совета ФЕН	Подпись ответственного

Помните о том, что РПД будет доступна для студентов.

Поэтому информация, указанная в РПД должна быть, с одной стороны, достоверна и достаточна для изучения дисциплины и понимания требований к ее освоению. С другой стороны, если содержание дисциплины (но не результаты) и формат ее преподавания подвергаются незначительным изменениям (по разным причинам), то не стоит прописывать до мельчайших подробностей, чтобы потом не попадаться на недостоверности.