ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕРВЫЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.П. ПАВЛОВА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО ПСПбГМУ
им. И.П. Павлова Минздрава России
_____ С.Ф. Багненко
«_24_» ____апреля_____ 20_23_ г.

Дополнительная профессиональная программа (программа профессиональной переподготовки)

Медицинская биоинформатика
По специальности «Программист»

(наименование программы)

дополнительное профессиональное образование

(подвид дополнительного образования)

Санкт-Петербург 2023 г.

Данные об утверждении образовательной программы:

Программа рассмотрена и одобрена Методическим советом ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, протокол №82, от 3 апреля 2023г.

Программа утверждена Ученым Советом ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, Протокол № 8 от 24 апреля 2023 г.

I. Общие положения

1. Дополнительная профессиональная программа (программа профессиональной переподготовки) ИТ-профиля «Медицинская биоинформатика» (далее – Программа) разработана в соответствии с нормами Федерального закона РФ от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», с учетом требований приказа Минобрнауки России от 1 июля 2013 г. № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам», с изменениями, внесенными приказом Минобрнауки России от 15 ноября 2013 г. № 1244 «О внесении изменений в Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 1 июля 2013 г. № 499», приказа Министерства образования и науки РФ от 23 августа 2017 г. N 816 «Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ»; паспорта федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»; постановления Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г. № 729 «О мерах по реализации программы стратегического лидерства «Приоритет-2030» (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 14 марта 2022 г. № 357 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г. № 729»); приказа Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 28 февраля 2022 г. № 143 «Об утверждении методик расчета показателей федеральных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и признании утратившими силу некоторых приказов Министерства цифрового

развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации об утверждении методик расчета показателей федеральных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (далее – приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации № 143); федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Минобрнауки России от 19 сентября 2017 г. № 929, (далее вместе – ФГОС ВО)), а также профессионального стандарта «Программист», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 ноября 2013 г. № 679н.)

2. Профессиональная переподготовка заинтересованных лиц (далее – Слушатели), осуществляемая в соответствии с Программой (далее – Подготовка), имеющей отраслевую направленность «Здравоохранение», проводится в ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова Минздрава России (далее – Университет) в соответствии с учебным планом в очной/заочной форме обучения.

3. Разделы, включенные в учебный план Программы, используются для последующей разработки календарного учебного графика, учебно-тематического плана, рабочей программы, оценочных и методических материалов. Перечисленные документы разрабатываются Университетом самостоятельно, с учетом актуальных положений законодательства об образовании, законодательства в области информационных технологий и смежных областей знаний ФГОС ВО и профессионального стандарта «Программист», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 ноября 2013 г. № 679н.

4. Программа регламентирует требования к профессиональной переподготовке в области разработки средства программной разработки.

Срок освоения Программы составляет 250 академических часов.

К освоению Программы в рамках проекта допускаются лица:

- получающие высшее образование по очной (очно-заочной) форме,

лица, освоившие основную профессиональную образовательную программу (далее – ОПОП ВО) бакалавриата – в объеме не менее первого курса (бакалавры 2-го курса), ОПОП ВО специалитета – не менее первого и второго курсов (специалисты 3-го курса), магистратуры, обучающиеся по ОПОП ВО не отнесенным к ИТ-сфере, а также обучающиеся по программам ординатуры.

Программа разработана для слушателей, обучающихся по специальностям и направлениям подготовки, не отнесенным к ИТ-сфере, согласно приложению к Методике расчета показателя «Количество принятых на обучение по программам высшего образования в сфере информационных технологий за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета (нарастающим итогом, начиная с 2021 года)», утвержденной приказом Минцифры России от 28 февраля 2022 г. № 143.

5. Область профессиональной деятельности: связь, информационные и коммуникационные технологии в Здравоохранении.

II. Цель

6. Целью подготовки слушателей по Программе является получение компетенции, необходимой для выполнения нового вида профессиональной деятельности в области информационных технологий в здравоохранении; приобретение новой квалификации программист.

III. Характеристика новой квалификации и связанных с ней видов профессиональной деятельности, трудовых функций и (или) уровней квалификации

7. Виды профессиональной деятельности, трудовая функция, указанные в профессиональном стандарте по соответствующей должности программист, представлены в таблице 1:

Таблица 1

Характеристика новой квалификации, связанной с видом профессиональной деятельности и трудовыми функциями в соответствии с профессиональным стандартом «Программист»

Область профессиональной деятельности	Тип задач профессиональной деятельности	Код и наименование профессиональной компетенции	Трудовые действия	Трудовая функция	Обобщенная трудовая функция	Вид профессиональной деятельности
Связь, информационные и коммуникационные технологии	Научно-исследовательский	ПК-1 –применяет языки программирования для решения профессиональных задач	Создание программного кода в соответствии с техническим заданием (готовыми спецификациями)	Написание программного кода с использованием языков программирования, определения и манипулирования данными	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
		ПК-2 применяет требования по оформлению программного кода	Приведение наименований переменных, функций, классов, структур данных и файлов в соответствие с установленными в организации требованиями	Оформление программного кода в соответствии с установленными требованиями	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
			Структурирование исходного программного кода в соответствии с установленными в организации требованиями	Оформление программного кода в соответствии с установленными требованиями	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения

			Комментирование и разметка программного кода в соответствии с установленными в организации требованиями	Оформление программного кода в соответствии с установленными требованиями	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
		ПК-3 применяет методы проверки и отладки программного кода	Форматирование исходного программного кода в соответствии с установленными в организации требованиями	Оформление программного кода в соответствии с установленными требованиями	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
			Анализ и проверка исходного программного кода	Проверка и отладка программного кода	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
		ПК-4 применяет в работе системы контроля версий	Оценка и согласование сроков выполнения поставленных задач	Проверка и отладка программного кода	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
			Регистрация изменений исходного текста программного кода в системе контроля версий	Работа с системой контроля версий	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
			Слияние, разделение и сравнение исходных текстов программного кода	Работа с системой контроля версий	Разработка и отладка программного кода	Разработка программного обеспечения
			Сохранение сделанных изменений программного кода в соответствии с регламентом	Работа с системой контроля версий	Разработка и отладка программного	Разработка программного обеспечения

			контроля версий		кода	

Таблица 2

Характеристика новой и развиваемой цифровой компетенции в ИТ-сфере, связанной с уровнем формирования и развития в результате освоения Программы «Медицинская биоинформатика»

Наименование сферы	**Код и наименование профессиональной компетенции**	**Пример инструментов**	**0 – способность не проявляется/ проявляется в степени, недостаточной для отнесения к 1 уровню сформированности компетенции**	**1 – способность проявляется под внешним контролем / при внешней постановке задачи/ обучающийся пользуется готовыми, рекомендованными продуктами**	**2 – способность проявляется, но обучающийся эпизодически прибегает к экспертной консультации/ самостоятельно подбирает и пользуется готовыми продуктами**	**3 – способность проявляется системно / обучающийся модифицирует способность под определенные задачи / создает новый продукт, обучает других**
Средства программной разработки	**Применяет языки программирования для решения профессиональных задач (ПК-1)**	**Python**	Не применяет языки программирования для решения профессиональных задач	Применяет языки программирования для решения профессиональных задач под контролем более опытных специалистов	-	-
						-

IV. Характеристика новых и развиваемых цифровых компетенций, формирующихся в результате освоения программы

8. В ходе освоения Программы Слушателем приобретаются следующие профессиональные компетенции:

- ПК-1 применяет языки программирования для решения профессиональных задач.
- ПК-2 применяет требования по оформлению программного кода.
- ПК-3 применяет методы проверки и отладки программного кода.
- ПК-4 применяет в работе системы контроля версий.

V. Планируемые результаты обучения по ДПП ПП

9. Результатами подготовки слушателей по Программе является получение компетенции, необходимой для выполнения нового вида профессиональной деятельности в области информационных технологий в здравоохранении; приобретение новой квалификации программист.

10. В результате освоения Программы слушатель должен:

В рамках ПК-1 знать:

Синтаксис Python и Bash, особенности программирования на Python и Bash, стандартные библиотеки Python .

Методологии разработки программного обеспечения.

Методологии и технологии проектирования и использования баз данных.

Технологии программирования.

Особенности среды программирования Visual Studio Code (или другой).

Компоненты программно-технических архитектур, существующие приложения и интерфейсы взаимодействия с ними.

Алгоритмы биоинформатики, реализуемые при помощи изучаемых языков программирования.

Форматы файлов для записи нуклеотидных и аминокислотных последовательностей (FASTA, FASTQ), выравниваний (SAM, BAM), структурных данных (PDB) и филогенетических деревьев (NWK).

Знать требования информационной безопасности (в частности, Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ, Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24 декабря 2018 г. N 911н "Об утверждении Требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций и информационным системам фармацевтических организаций").

Уметь:

Применять Python и Bash для написания программного кода.

Использовать среду программирования Visual Studio Code (или другую).

Использовать возможности имеющейся технической и/или программной архитектуры.

Анализировать и преобразовывать файлы для записи нуклеотидных и аминокислотных последовательностей (FASTA, FASTQ), выравниваний (SAM, BAM), структурных данных (PDB) и филогенетических деревьев (NWK)

Применять программные модули и библиотеки, отвечающие за информационную безопасность: в частности, защиту персональных данных, шифрование и др.

Владеть:

Обладать навыками создания программного кода в соответствии с техническим заданием.

Обладать навыками оптимизации программного кода с использованием специализированных программных средств.

Обладать навыками анализа данных в геномике, транскриптомике и протеомике.

Обладать навыками применения программно-аппаратных средств информационной безопасности.

В рамках ПК-2 знать:

Инструментарий для создания и актуализации исходных текстов программ.

Методы повышения читаемости программного кода.

Системы кодировки символов, форматы хранения исходных текстов программ: текстовый и специализированный формат Jupyter Notebook.

Нормативные документы, определяющие требования к оформлению программного кода в целом (ЕСПД), а также специализированный для Python стандарт PEP 8 и Shell Style Guide для Bash.

Уметь:

Применять нормативные документы, определяющие требования к оформлению программного кода в целом (ЕСПД), а также специализированный для Python стандарт PEP 8 и Shell Style Guide для Bash.

Применять инструментарий для создания и актуализации исходных текстов программ.

Применять имеющиеся шаблоны для составления технической документации.

Использовать вспомогательные инструментальные программные средства для обработки исходного текста программного кода.

Владеть:

Обладать навыками форматирования исходного программного кода в соответствии с нормативными документами.

Обладать навыками комментирования и разметки программного кода в соответствии с нормативными документами.

В рамках ПК-3 знать:

Методы и приемы отладки программного кода.

Типы и форматы сообщений об ошибках, предупреждений.

Способы использования технологических журналов, форматы и типы записей журналов.

Современные компиляторы, отладчики и оптимизаторы программного кода. Сообщения о состоянии аппаратных средств.

Уметь:

Применять методы и приемы отладки программного кода.

Интерпретировать сообщения об ошибках, предупреждения, записи технологических журналов.

Применять современные компиляторы, отладчики и оптимизаторы программного кода;

Применять прикладные программы для просмотра конструкторской и технологической документации

Владеть:

Обладать навыками анализа и проверки исходного программного кода.

Обладать навыками отладки программного кода на уровне программных модулей.

Обладать навыками отладки программного кода на уровне межмодульных взаимодействий и взаимодействий с окружением.

В рамках ПК-4 знать:

Возможности используемой системы контроля версий Git и вспомогательных инструментальных программных средств. Установленный регламент использования системы контроля версий.

Уметь:

Выполнять действия, соответствующие установленному регламенту используемой системы контроля версий.

Использовать систему контроля версий Git.

Владеть:

Обладать навыками работы в системе Git.

VI. Организационно-педагогические условия реализации ДПП

11. Реализация Программы должна обеспечить получение компетенции, необходимой для выполнения нового вида профессиональной деятельности в области информационных технологий в здравоохранении; приобретение

новой квалификации программист.

12. Учебный процесс организуется с применением, инновационных технологий и методик обучения, способных обеспечить получение слушателями знаний, умений и навыков в области связи, информационных и коммуникационных технологии.

13. Реализация Программы обеспечивается научно-педагогическими кадрами Университета, допустимо привлечение к образовательному процессу высококвалифицированных специалистов ИТ-сферы и/или дополнительного профессионального образования в части, касающейся профессиональных компетенций в области создания алгоритмов и программ, пригодных для практического применения, с обязательным участием представителей профильных организаций-работодателей. Возможно привлечение региональных руководителей цифровой трансформации (отраслевых ведомственных и/или корпоративных) к проведению итоговой аттестации, привлечение работников организаций реального сектора экономики субъектов Российской Федерации.

VII. Учебный план ДПП

14. Объем Программы составляет 250 часов.

15. Учебный план Программы определяет перечень, последовательность, общую трудоемкость разделов и формы контроля знаний.

Учебный план программы профессиональной переподготовки «Медицинская биоинформатика»

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Общая трудоемкость (250 часов)	Форма контроля
1.	**Основы программирования на языке Python**	**55**	**зачет**
1.1.	Введение. Прикладные программы для просмотра конструкторской и технологической	11	

	документации. Внешние носители информации и устройства ввода/вывода информации. Основы алгоритмизации: понятие алгоритма, блок-схемы, псевдокод		
1.2.	Понятие переменной. Ввод и вывод. Основные типы данных	12	
1.3.	Инструкции и циклы. Функции, классы, модули	13	
1.4.	Система контроля версий	11	
1.5.	Основы информационной безопасности	8	
2.	**Основы работы в ОС Linux**	**70**	**зачет**
2.1	ОС Linux: командная строка	10	
2.2	ОС Linux: файловая система, доступ	16	
2.3	Bash	11	
2.4	Менеджеры пакетов apt, conda	16	
2.5	Написание скриптов: Bash, Python, Git	17	
3.	**Прикладная биоинформатика**	**74**	**зачет**
3.1	Базы данных. Понятие референсного генома	11	
3.2	Технология секвенирования. Fastq-файл	14	
3.3	Секвенирование ДНК	10	
3.4	Секвенирование РНК	14	
3.5	Филогенетика	14	
3.6	Молекулярное моделирование	11	
4.	**Практика**	**36**	**экзамен**
	Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	9	зачет / экзамен
	Итоговая аттестация	6	Экзамен
	Итого:	**250**	

VIII. Календарный учебный график

Календарный учебный график программы профессиональной переподготовки «Медицинская биоинформатика»

№ пп	Наименование раздела (модуля)	Учебные недели																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
		сентябрь				октябрь				ноябрь				декабрь				январь				февраль				март				апрель				май			
1.	Основы программирования на языке Python	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО										
2.	Основы работы в ОС Linux					ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО																
3.	Прикладная биоинформатика							ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО									
4.	Практика																													П	П	П	П	П	П	П	
	Промежуточная аттестация																					Э						Э	Э								
	Итоговая аттестация																																				Э

ТО – текущее обучение, П – практика, Э - промежуточная, итоговая аттестация

IX. Рабочая программа учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей)

16. Рабочая программа содержит перечень разделов и тем, а также рассматриваемых в них вопросов с учетом их трудоемкости.

Рабочая программа разрабатывается Университетом с учетом профессионального стандарта «Программист», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 ноября 2013 г. № 679н.

№ п/п	Наименование и краткое содержание раздела(модуля)	Объем, часов
1.	Основы программирования на языке Python *Основные темы:* Прикладные программы для просмотра конструкторской и технологической документации. Внешние носители информации и устройства ввода/вывода информации Основы алгоритмизации. Основы языка Python. Отладка программ. Работа в системе контроля версий. *Краткое содержание* Введение в программирование, программирование в медицине. Базовые конструкции языка Python. Ввод-вывод. Динамические структуры данных. Основы структурного программирования, модули. Основы объектно-ориентированного программирования, классы.	55
1.1.	Введение. Основы алгоритмизации: понятие алгоритма, блок-схемы, псевдокод Прикладные программы для просмотра конструкторской и технологической документации. Внешние носители информации и устройства ввода/вывода информации Определение алгоритма. Ветвление и циклы. Способы записи алгоритмов. Блок-схемы и псевдокод. Основные достоинства языка Python. Консольный интерпретатор языка и текстовый редактор. Установка Python в ОС Windows.	11
1.2.	Понятие переменной. Ввод и вывод. Основные типы данных Понятие переменной. Оператор присваивания. Ввод и вывод данных. Функция print. Функция input. Основные типы данных: булевский тип, числа (целые и	12

	вещественные), строки, списки, множества, словари, кортежи. Операции над числами и строками. Escape-последовательности. Преобразование типов. Индексация и срезы последовательностей. Строковые методы. Файлы. Работа с файлами, файловый ввод и вывод. Способы отладки.	
1.3.	Инструкции и циклы. Функции, классы, модули Логические выражения. Условный оператор. Инструкция if. Множественное ветвление. Вложенные условия. Исключения. Перехват исключений с помощью try и except. Циклы while и for. Обход последовательностей, методы списков, множеств и словарей. Встроенные функции len(), max(), min(), sum(). Функция. Вызов функции. Итераторы и оператор yield. Модули и пакеты модулей. Классы, конструктор класса, атрибуты, наследование.	13
1.4.	Система контроля версий Локальные, централизованные и распределённые системы контроля версий. Установка Git. Создание репозитория, запись изменений, просмотр истории, операции отмены. Ветвление, управление ветками. GitHub.	11
1.5.	Основы информационной безопасности Конфиденциальность, целостность, доступность данных. Методы ограничения доступа к данным. Понятия о шифровании данных и защищенных каналах передачи данных. Защита от вирусов и несанкционированного доступа. Понятие о DoS атаках. Конфиденциальность данных. Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ и его применение в здравоохранении.	8
2.	Основы работы в ОС Linux *Основные темы:* Интерфейс ОС Linux. Работа с терминалом. Особенности файловой системы в ОС Linux. Основы программирования на Bash. Менеджеры пакетов и виртуальное окружение. Написание скриптов. *Краткое содержание:* Основы работы с командной строкой. Права пользователей. Работа с файловой системой в ОС Linux.	70

	Операции над файлами и директориями. Написание скриптов с использованием языка Bash. Менеджеры пакетов apt, conda, преимущества conda для биоинформатических задач. Mamba.	
2.1	ОС Linux: командная строка Интерфейс и возможности ОС Linux. Дистрибутивы Linux. WSL. Основные понятия интерфейса командной строки. Терминальный режим. Система помощи man. Мониторинг процессов с помощью htop. Терминальный мультиплексор tmux.	10
2.2	ОС Linux: файловая система, доступ Обзор стандартных каталогов файловой системы Linux. Абсолютный и относительный путь. Перемещение, копирование, удаление файлов. Виды доступа к ресурсам файловой системы: чтение, запись, использование. Команды изменения доступа. Права пользователя. Sudo.	16
2.3	Bash Команда echo. Конкатенация содержимого файлов с помощью cat. Команды head, tail. Вырезание строк и символов в тексте при помощи cut. Потоковые редакторы sed, awk. Сравнение содержимого файлов diff. Поиск строк с помощью grep.	11
2.4	Менеджеры пакетов apt, conda Установка, удаление и поиск пакетов. Обслуживание и обновление: инструменты APT. Пакетная система, репозиторий. Проблема зависимостей. Понятие о виртуальных средах. Версии conda: miniconda, anaconda. Проверка доступных сред. Создание новой среды. Активация. Установка, обновление и удаление пакетов.	16
2.5	Написание скриптов: Bash, Python, Git Написание и запуск скрипта на Python из командной строки. Аргументы. Модуль subprocess. Написание скриптов на Bash. Переменные, функции, аргументы. Цикл for. Условный оператор.	17
3.	Прикладная биоинформатика *Основные темы:*	74

	Базы данных в биоинформатике, доступ к ним. Технология NGS. Биоинформатический анализ секвенирования ДНК. Изучение экспрессии генов. Эволюционная реконструкция: методы филогенетики. Моделирование биологических молекул. *Краткое содержание:* Работа с базами данных нуклеотидных и белковых последовательностей, структур биологических молекул. Анализ данных секвенирования и микрочипов. Интерпретация результатов. Определение гомологичности последовательностей. Визуализация и преобразование моделей биомолекул.	
3.1	Базы данных. Понятие референсного генома Доступ к ресурсам NCBI. Международная коллаборация баз данных нуклеотидных последовательностей. Хранилище Entrez. Система GenBank. База данных UniProtKB. Идентификаторы последовательностей в GenBank, RefSeq, UniProtKB. Формат fasta, bed. Референсные геномы человека: hg19, GRCh38, T2T.	11
3.2	Технология секвенирования. Fastq-файл Методы молекулярной диагностики. Детекция результатов ПЦР. Подбор праймеров. Принципы NGS-технологии: подготовка библиотеки, собственно секвенирование, биоинформатическая обработка данных. Важнейшие задачи поиска в секвенированном геноме. Инструменты для анализа качества результатов секвенирования.	14
3.3	Секвенирование ДНК Выравнивание при помощи алгоритма bwa. Формат sam/bam. Сортировка, индексирование файлов. Удаление дупликатов. Вариант-коллеры.	10
3.4	Секвенирование РНК Микрочипы (microarrays) и анализ профилей экспрессии генов. Технология RNASeq. База данных NCBI UniGene, GEO (Gene Expression Omnibus). Решение задач поиска достоверно гипер- и гипо-экспрессируемых генов. Принципы нахождения координированных взаимоотношений между генами (генных сетей).	14

3.5	Филогенетика Гомологи. Понятие схожести (similarity) и идентичности (identity) последовательностей. Парное и множественное выравнивание последовательностей. Филогенетическое дерево и его составные части. Определение родства последовательностей: расстояния Хэмминга, распределение Пуассона, модели Юкса-Кантора, Кимуры, Тамуры. Методы построения деревьев: основанные на расстояниях (UPGMA, NJ), методе максимальной парсимонии и максимального правдоподобия. Байесовское филогенетическое дерево. Формат NWK.	14
3.6	Молекулярное моделирование Методы получения трехмерной структуры белка. Формат PDB. Базы данных трёхмерных структур. Визуализация молекул в PyMol. Моделирование трехмерных структур молекул и молекулярных комплексов.	11
4.	Практика. Основными площадками для прохождения практики являются научно-клинические подразделения университета и учебные базы в других клиниках: – НИЦ биоинформатики НОИ биомедицины ПСПбГМУ им. И.П.Павлова – лаборатория генной и клеточной терапии НИИ ДОГиТ им. Р.М. Горбачевой ПСПбГМУ им. И.П.Павлова – лаборатория медицинской генетики одела молекулярно-генетических и нанобиологических технологий ПСПбГМУ им. И.П.Павлов – НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова – ФГБНУ "НИИ АГиР им.Д.О.Отта – ООО Интеллектуальные программные системы – ГКУЗ ЛО «МИАЦ»	36
5.	*Основные темы:* **Промежуточная аттестация** *Краткое содержание:* Сдача зачетов по трем разделам и один экзамен по разделу «Практика»	9
6.	*Основные темы:* **Итоговая аттестация** *Краткое содержание:* Итоговая аттестация по Программе проводится в форме защиты проекта	6

17. Учебно-тематический план Программы определяет тематическое содержание, последовательность разделов и (или) тем и их трудоемкость.

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Количество часов аудиторных	
		Лекции	Семинары
1.	**Основы программирования на языке Python**	**5**	**50**
1.1.	Введение. Прикладные программы для просмотра конструкторской и технологической документации. Внешние носители информации и устройства ввода/вывода информации Основы алгоритмизации: понятие алгоритма, блок-схемы, псевдокод	1	10
1.2.	Понятие переменной. Ввод и вывод. Основные типы данных	1	11
1.3.	Инструкции и циклы. Функции, классы, модули	1	12
1.4.	Система контроля версий	1	10
1.5.	Основы информационной безопасности	1	7
2.	Основы работы в ОС Linux	**4**	**66**
2.1	ОС Linux: командная строка	-	10
2.2	ОС Linux: файловая система, доступ	1	15
2.3	Bash	1	10
2.4	Менеджеры пакетов apt, conda	1	15
2.5	Написание скриптов: Bash, Python, Git	1	16
3.	Прикладная биоинформатика	**5**	**69**
3.1	Базы данных. Понятие референсного генома	1	10

3.2	Технология секвенирования. Fastq-файл	1	13
3.3	Секвенирование ДНК	-	10
3.4	Секвенирование РНК	1	13
3.5	Филогенетика	1	13
3.6	Молекулярное моделирование	1	10
4.	Практика	-	36
5.	**Промежуточная аттестация**	9	
6.	**Итоговая аттестация**	6	

**указать вид (-ы) запланированной самостоятельной работы*

X. Формы аттестации

18. Слушатели, успешно выполнившие все элементы учебного плана, допускаются к итоговой аттестации. Итоговая аттестация по Программе проводится в форме междисциплинарного экзамена.

19. Лицам, успешно освоившим Программу (в области создания алгоритмов и программ, пригодных для практического применения, или навыков использования и освоения цифровых технологий, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности) и прошедшим итоговую аттестацию в рамках проекта «Цифровые кафедры», выдается документ о квалификации: диплом о профессиональной переподготовке.

При освоении ДПП ПП параллельно с получением высшего образования диплом о профессиональной переподготовке выдается не ранее получения соответствующего документа об образовании и о квалификации (за исключением лиц, имеющих среднее профессиональное или высшее образование).

20. Лицам, не прошедшим итоговую аттестацию или получившим на итоговой аттестации неудовлетворительные результаты, а также лицам, освоившим часть Программы и (или) отчисленным из Университета, выдается справка об обучении или о периоде обучения по образцу, самостоятельно устанавливаемому Университетом.

XI. Оценочные материалы

21. Контроль знаний, полученных слушателями при освоении разделов (модулей) Программы, осуществляется в следующих формах:

- текущий контроль успеваемости – обеспечивает оценивание хода освоения разделов Программы, проводится в форме опроса или тестирования;

- промежуточная аттестация – завершает изучение отдельного модуля Программы, проводится в форме зачета или экзамена;

- итоговая аттестация – завершает изучение всей программы.

22. В ходе освоения Программы каждый слушатель выполняет следующие отчетные работы:

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Задание	Критерии оценки
1.	Основы программирования на языке Python	Тестирование Опрос	Описание шкалы оценивания тестирования: – от 0 до 49,9 % выполненных заданий – неудовлетворительно; – от 50 до 69,9% – удовлетворительно; – от 70 до 85,9% – хорошо; – от 86 до 100% – отлично Критерии оценивания преподавателем ответа на вопросы: – соответствие содержания ответа заданию, полнота раскрытия темы/задания (оценка соответствия содержания ответа теме/заданию); – умение проводить аналитический анализ прочитанной учебной и научной литературы, сопоставлять теорию и практику; – логичность, последовательность изложения ответа; – аргументированность, доказательность излагаемого материала. Оценка «отлично» выставляется за ответ, в котором содержание соответствует теме или заданию, обучающийся глубоко и прочно

			усвоил учебный материал, последовательно, четко и логически стройно излагает его, демонстрирует собственные суждения и размышления на заданную тему, делает соответствующие выводы; умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, приводит материалы различных научных источников, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения задания, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если его ответ соответствует и раскрывает тему или задание, обучающийся показывает знание учебного материала, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей при выполнении задания, правильно применяет теоретические положения при выполнения задания, владеет необходимыми навыками и приемами его выполнения, однако испытывает небольшие затруднения при формулировке собственного мнения, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если его ответ в полной мере раскрывает тему/задание, обучающийся имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении учебного материала по заданию, его собственные суждения и размышления на заданную тему носят поверхностный характер. Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если не раскрыта тема, содержание ответа не соответствует теме, обучающийся не обладает знаниями по значительной части учебного материала и не может грамотно изложить ответ на

			поставленное задание, не высказывает своего мнения по теме, допускает существенные ошибки, ответ выстроен непоследовательно, неаргументированно.
2.	Основы работы в ОС Linux	Тестирование Опрос	Описание шкалы оценивания тестирования: – от 0 до 49,9 % выполненных заданий – неудовлетворительно; – от 50 до 69,9% – удовлетворительно; – от 70 до 85,9% – хорошо; – от 86 до 100% – отлично Критерии оценивания преподавателем ответа на вопросы: – соответствие содержания ответа заданию, полнота раскрытия темы/задания (оценка соответствия содержания ответа теме/заданию); – умение проводить аналитический анализ прочитанной учебной и научной литературы, сопоставлять теорию и практику; – логичность, последовательность изложения ответа; – аргументированность, доказательность излагаемого материала. Оценка «отлично» выставляется за ответ, в котором содержание соответствует теме или заданию, обучающийся глубоко и прочно усвоил учебный материал, последовательно, четко и логически стройно излагает его, демонстрирует собственные суждения и размышления на заданную тему, делает соответствующие выводы; умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, приводит материалы различных научных источников, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения задания, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если его ответ соответствует и раскрывает тему или задание, обучающийся показывает знание учебного материала,

			грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей при выполнении задания, правильно применяет теоретические положения при выполнения задания, владеет необходимыми навыками и приемами его выполнения, однако испытывает небольшие затруднения при формулировке собственного мнения, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если его ответ в полной мере раскрывает тему/задание, обучающийся имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении учебного материала по заданию, его собственные суждения и размышления на заданную тему носят поверхностный характер. Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если не раскрыта тема, содержание ответа не соответствует теме, обучающийся не обладает знаниями по значительной части учебного материала и не может грамотно изложить ответ на поставленное задание, не высказывает своего мнения по теме, допускает существенные ошибки, ответ выстроен непоследовательно, неаргументированно.
3	Прикладная биоинформатика	Тестирование Опрос	Описание шкалы оценивания тестирования: – от 0 до 49,9 % выполненных заданий – неудовлетворительно; – от 50 до 69,9% – удовлетворительно; – от 70 до 85,9% – хорошо; – от 86 до 100% – отлично Критерии оценивания преподавателем ответа на вопросы: – соответствие содержания ответа заданию, полнота раскрытия темы/задания (оценка соответствия содержания ответа теме/заданию); – умение проводить аналитический анализ прочитанной учебной и научной литературы,

			сопоставлять теорию и практику; – логичность, последовательность изложения ответа; – аргументированность, доказательность излагаемого материала. Оценка «отлично» выставляется за ответ, в котором содержание соответствует теме или заданию, обучающийся глубоко и прочно усвоил учебный материал, последовательно, четко и логически стройно излагает его, демонстрирует собственные суждения и размышления на заданную тему, делает соответствующие выводы; умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, приводит материалы различных научных источников, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения задания, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если его ответ соответствует и раскрывает тему или задание, обучающийся показывает знание учебного материала, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей при выполнении задания, правильно применяет теоретические положения при выполнения задания, владеет необходимыми навыками и приемами его выполнения, однако испытывает небольшие затруднения при формулировке собственного мнения, показывает должный уровень сформированности компетенций. Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если его ответ в полной мере раскрывает тему/задание, обучающийся имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении учебного материала по заданию, его собственные суждения и размышления на

			заданную тему носят поверхностный характер. Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если не раскрыта тема, содержание ответа не соответствует теме, обучающийся не обладает знаниями по значительной части учебного материала и не может грамотно изложить ответ на поставленное задание, не высказывает своего мнения по теме, допускает существенные ошибки, ответ выстроен непоследовательно, неаргументированно.
7	Практика	Выполнение проекта или задания, поставленного отраслевыми компаниями / организациями	На практике реализуется прототип проекта, демонстрирующий основные возможности продукта. При этом вторичные, вспомогательные функции могут работать некорректно при исключительных ситуациях. Оценка работоспособности прототипа проекта: — прототип проекта неработоспособен — неудовлетворительно; — выполнен прототип проекта, не полностью реализующий функции, заложенные в техническом задании; имеются существенные ошибки — удовлетворительно; — выполнен прототип проекта, реализующий более 80% основных функций, заложенных в техническом задании; имеются незначительные ошибки — хорошо; — выполнен прототип проекта, реализующий все основные функций, заложенные в техническом задании; имеются незначительные ошибки — отлично
8	Промежуточная аттестация	Зачет	Зачет проводится в виде тестирования Описание шкалы оценивания тестирования: – от 0 до 49,9 % выполненных заданий – неудовлетворительно; – от 50 до 69,9% – удовлетворительно; – от 70 до 85,9% – хорошо; – от 86 до 100% – отлично
9	Итоговая аттестация	Защита проекта	Итоговая аттестация проводится в форме защиты проекта. Критерии оценивания проекта: – актуальность проекта;

			– практическая значимость проекта; – применение методов медицинской биоинформатики; – соответствие результатов заявленной цели и задачам проекта; – представление доклада. Оценка «отлично» выставляется за проект, обладающий высокой актуальностью и практической значимостью, включающий в себя изученные в рамках ДПП ПП технологии, результаты проекта соответствуют решению поставленных задач, доклад представлен ясно и логично, содержит иллюстративный материал, обучающийся полностью владеет темой проекта и отвечает на все дополнительные вопросы. Оценка «хорошо» выставляется за проект, обладающий высокой актуальностью и практической значимостью, включающий в себя изученные в рамках ДПП ПП технологии, результаты проекта соответствуют решению поставленных задач, в проекте могут быть допущены незначительные недоработки, доклад представлен ясно и логично, обучающийся владеет темой проекта и отвечает на большинство дополнительных вопросов. Оценка «удовлетворительно» выставляется за проект, включающий в себя изученные в рамках ДПП ПП технологии, результаты проекта частично соответствуют решению поставленных задач, обучающийся не отвечает на некоторые вопросы, касающиеся темы проекта и его реализации. Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он не смог выполнить и представить результаты проекта в результате допущенных существенных ошибок или недопустимого упрощения поставленной задачи.

23. Текущий контроль. Перечень примерных заданий

Основы программирования на языке Python

Примеры тестовых заданий:

Регистр букв в идентификаторах [имеет/не имеет] значение [Ответ: имеет]
Символ # в Python обозначает [Ответ: Комментарий]
str='ПСПбГМУ' print(s[1:3]). Программа выведет ... [Ответ: СПб]
f='AT'. f*5 равно ... [Ответ: 'ATATATAT']

Как закомментировать строку в VSC?
а) Ctrl + C
б) Ctrl + Z
в) Ctrl + /
г) Ctrl + k + u

Как проверить состояние локального репозитория с момента последнего commit?
а) git check
б) git status +
в) git commit
г) git diff

Как сохранить текущее состояние проекта в контроле версий git?
а) Осуществить commit всех изменений в stage area
б) Добавляя все изменения при помощи команды «git stage»
в) Добавляя все изменения при помощи команды «git add»
г) Создавая новый commit при помощи «git init»

Основы работы в ОС Linux

Примеры тестовых заданий:

Как выполнить myscript.sh, если он находится в текущем каталоге?
а) /myscript.sh
б) run myscript.sh
в) myscript.sh +
г) execute myscript.sh

Для того чтобы скрипт Bash выполнялся как команда операционной системы, он должен начинаться со строки shebang. Как она должна выглядеть?
а) #!/usr/bin/env bash +
б) ~/usr/bin/env bash
в) '$!/usr/bin/env bash
г) #/usr/bin/env bash

Как удалить пустые строки внутри файла, изменив его?
а) sed -i '/^$/d' textfile +
б) sed '/^$/d' textfile
в) cat textfile | sed '/^$/d
г) sed -i 's/^$//' textfile

Как добавить вывод команды к файлу?
а) Command > file
б) Command >> file +
в) Command <> file
г) Command < file

Как удалить папку?
а) rm folder
б) rm -r folder +
в) ls folder
г) touch folder

Как осуществляется итерация содержимого папки?
а) 'bash for i in $ls; do ... done'
б) 'bash for i in $(ls); do ... done' +
в) 'bash for $(ls); do ... done'
г) 'bash for $ls; do ... done'

Какая из следующих команд удаляет виртуальную среду myEnv?
а) conda deactivate myEnv
б) conda uninstall myEnv
в) conda remove -n myEnv
г) conda env remove -n myEnv +

Прикладная биоинформатика

Примеры тестовых заданий:

Какой из вариантов соответствует идентификатору иРНК в базе данных RefSeq?
а) J01536
б) NM_15392 +
в) NP_52280
г) AAB134506

Выберите верное определение ортологов:
а) Гомологичные последовательности в разных видах, имеющие общего предка +
б) Структурно схожие, но непохожие друг на друга по последовательности гомологичные последовательности
в) Гомологичные последовательности внутри одного вида, возникшие в

результате дупликации предкового гена
г) Гомологичные последовательности внутри одного вида, обеспечивающие схожие функции

Как отличить ошибки секвенирования от настоящих вариантов?
а) все отличия от референсного генома являются вариантами
б) очистка FASTQ файла устраняет ошибки секвенирования
в) невозможно различить истинные варианты от ошибок секвенирвоания
г) варианты повторяются несколько раз в ридах +

Какое из этих полей SAM файла содержит бинарное число, которое описывает детали данного выравнивания?
а) QNAME
б) POS
в) FLAG +
г) QUAL

Какая программа используется для перевода SAM формата в BAM?
а) samtools +
б) fastqc
в) bcftools
г) trimmomatic

Для чего нужен график Рамачандрана?
а) он позволяет различать альфа- и бета-белковые классы
б) он позволяет определить качество белковых структур +

Кладограммы позволяют обнаруживать
а) Расстояния между элементами
б) Ближайших общих предков +

Основы программирования на языке Python

Примеры контрольных вопросов:

Какие основные типы данных языка Python вы знаете?
Какими методами обладает список в языке Python?
Как объявляется функция в языке Python?
Как получить список всех методов объекта?
Какие комбинации клавиш Вы знаете для работы с текстом в VSC?
Какие способы запустить программу из VSC Вы знаете?
Какая команда позволяет скачать репозиторий GitHub на компьютер?
При помощи какой команды можно осуществить staging всех изменений?

Основы работы в ОС Linux

Примеры контрольных вопросов:

Какие операционные системы не относятся к операционным системам типа UNIX?
Что будет делать ОС Linux, если ей недостаточно оперативной памяти?
Укажите основные составные части ОС
Как создать и удалить каталог в Linux?
Как создать пустой файл в Linux?
Объясните команду Grep и регулярные выражения.
Как искать файлы в Linux?
Как остановить запущенный процесс в Linux?
Как создать пользователя и группу в Linux?
В чем разница между apt и apt-get?

Прикладная биоинформатика

Примеры контрольных вопросов:

Каким образом поддерживается контроль качества входных данных в GenBank?
Каковы преимущества технологии NGS перед секвенированием по Sanger?
Каковы основные параметры контроля качества FASTQ Вы знаете?
Какие программы для выравнивания Вы знаете?
Для чего используют геномные браузеры?
Что такое парное выравнивание последовательностей?
Что такое гомологи, ортологи, паралоги?
Что такое глобальное и локальное выравнивание?

25. Итоговая аттестация. Перечень типовых тем для практики

Анализ данных таргетного секвенирования при <патологии>.
В качестве патологии, например, можно взять:
- миелодиспластическую неоплазию (МДС),
- предрасположенность к опухолевым заболеваниям,
- костномозговой недостаточностью,
- нейроонкологических заболеваниях.

Анализ данных РНК-экспрессии при <патологии>.
В качестве патологии, например, можно взять:
- гипергликемию,
- миопатию,
- псориаз.

Эволюционная реконструкция <гена>.
В качестве гена, например, можно взять:
- TP53,
- BRCA1,

– PIK3CA.

Прогнозирование и обобщение результатов прогнозирования эффекта мутаций <гена>
В качестве гена, например, можно взять:
– BRAF,
– KMT2A,
– NPM1.

Прогнозирование и анализ <структуры>:
В качестве структуры, например, можно взять:
– внеклеточный домен CD3E,
– пептид хуманин,
– рецептор-связывающий домен белка вируса SARS-CoV-2.

In silico прогнозирование и анализ <комплекса>:
В качестве комплекса, например, можно взять:
– трихостатин и HDAC8,
– IL23 и IL23R,
– рецептор-связывающий домен белка вируса SARS-CoV-2 и ACE2.

XII. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение Программы

Наименование аудиторий, адрес	Перечень оборудования Общее и специальное оборудование	Адрес
1	2	3
Аудитория 4	Персональные компьютеры на базе процессора Intel® Core™ i3-10100 с 22’’ мониторами и оснащенные веб-камерами и звуковой системой. Все компьютеры имеют выход в сеть интернет и подключены к доменной сети университета.– 14 шт Интерактивная панель Lumien – 1 шт	ПСПбГМУ им.ак. И.П.Павлова 21 корпус 4 этаж кафедра физики, математики и информатики
Аудитория 8	Персональные компьютеры на базе процессора Intel® Core™ i3-10100 с 22’’ мониторами и оснащенные веб-камерами и звуковой системой. Все	ПСПбГМУ им.ак. И.П.Павлова 21 корпус 4 этаж кафедра физики, математики и

	компьютеры имеют выход в сеть интернет и подключены к доменной сети университета.– 14 шт Интерактивная доска – 1 шт	информатики
Аудитория 10	Персональные компьютеры на базе процессора Intel® Core™ i3-10100 с 22’’ мониторами и оснащенные веб-камерами и звуковой системой. Все компьютеры имеют выход в сеть интернет и подключены к доменной сети университета.– 14 шт Интерактивная панель поддерживающая ОС Android и OPS Windows 10. – 1 шт	ПСПбГМУ им.ак. И.П.Павлова 21 корпус 4 этаж кафедра физики, математики и информатики
Аудитория 14	Доска, 25 парт, 50 стульев.	ПСПбГМУ им.ак. И.П.Павлова 21 корпус 4 этаж кафедра физики, математики и информатики

XIII. Список литературы

[1] The Python Tutorial: [Сайт]. URL: https://docs.python.org/3/tutorial/index.html

[2] The Python Language Reference: [Сайт]. URL: https://docs.python.org/3/reference/index.html#reference-index

[3] PEP 8 – Style Guide for Python Code: [Сайт]. URL: https://peps.python.org/pep-0008/

[4] Visual Studio Code. User Guide: [Сайт]. URL: https://code.visualstudio.com/docs#editor-articles

[5] Scott Chacon. Pro Git. Apress. 2014. 440p. Доступна на русском языке по URL: https://git-scm.com/book/ru/v2

[6] Ланг, Т.А. Как описывать статистику в медицине. Руководство для авторов, редакторов и рецензентов. / Т. А. Ланг, М. Сесик, В. П. Леонов - М.: Практическая Медицина. - 2016 г.- 480 с. - ISBN 978-5-98811-325-6.

[7] NumPy: the absolute basics for beginners - NumPy v1.23 Manual: [сайт]. URL: https://numpy.org/doc/stable/user/absolute_beginners.html

[8] Tutorials - Matplotlib 3.5.2 Documentation: [сайт]. URL: https://matplotlib.org/stable/tutorials/index.html

[9] Community totorials - pandas 1.4.3 documentation: [сайт]. URL: https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/tutorials.html

[10] Сингер, М. Гены и геномы / М. Сингер, П. Берг : В 2-х томах. Том 1, 2.

Пер. с англ. — М.: Мир, 1998. — 391 с. — ISBN 5-03-002850-1.
[11] Леск, А. Введение в биоинформатику. / А. Леск, Н. Аникин - 2-е изд.- М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. 2017. - 318 с. - ISBN 978-5-9963-1614-4.
[12] Часовских, Н.Ю.: Биоинформатика. Учебник. / Н. Ю. Часовских Н., Е. В. [1] Панченко - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020 г. - 352 с. ISBN: 978-5-9704-5542-5.
[13] Стефанов, В. Е. Биоинформатика : учебник для академического бакалавриата / В. Е. Стефанов, А. А. Тулуб, Г. Р. Мавропуло-Столяренко.- М.: Юрайт. - 2021 г. - 252 с. - ISBN 978-5-9916-6986-3, 978-5-534-00860-9.
[14] Мушкамбаров, Н.Н. Молекулярная биология. Учебное пособие для студентов медицинских вузов. / Н. Н. Мушкамбаров, С. Л. Кузнецов - М.: МИА. - 2007 г. - 536 с. - ISBN 5-89481-618-1.
[15] Biopython Tutorial and Cookbook: [сайт]. URL: http://biopython.org/DIST/docs/tutorial/Tutorial.html