

УДК 601:004.421:378

НОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА НАПРАВЛЕНИЯ «БИОТЕХНОЛОГИЯ» ПО ПРОФИЛЮ «БИОИНФОРМАТИКА»**Р.Р. Биглов, А.С. Кузнецов***МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва, Россия*

Комплексной программой развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г. было определено, что «Основными задачами подготовки кадров в сфере биотехнологий будет выстраивание на базе обновленных образовательных стандартов и программ траектории получения необходимых компетенций, знаний и навыков...». Программой предусмотрена «Разработка новых и модификация существующих образовательных стандартов для различных категорий специалистов разных отраслей биоэкономики и создание новых образовательных программ в соответствии с кадровыми потребностями биотехнологического бизнеса» [1].

Перспективными направлениями в области биотехнологий являются разработка методов биоинформатики для обработки данных геномного, транскриптомного и протеомного анализа [2].

Изучение живых организмов является сложнейшей задачей, требующей умения использовать современные знания и методы, в том числе и технологии искусственного интеллекта. В работе биотехнологов уже во всю используются такие методы, как скрининг сложнейших молекул, компьютерный молекулярный дизайн, выборки огромного количества молекул (Big Data), молекулярное моделирование, компьютерный анализ (докинг), современные методы статистического анализа, а также нейронные сети.

Актуальность подготовки специалистов по такому профилю показала сегодняшняя ситуация с пандемией, вызванной вирусом SARS-CoV-2 (COVID-19). В современных условиях создание вакцины начинается с секвенирования биополимеров вируса (белков и нуклеиновых кислот) – определения их первичной структуры (последовательности аминокислот и нуклеотидов), что невозможно без использования современного математического аппарата и средств вычислительной техники.

Современные биотехнологии должны не только использовать средства компьютерной техники (цифровизация), но и участвовать в создании компьютерных программ, используемых в их деятельности. Один из злободневных примеров – расшифровка генома вирусов и бактерий, для дальнейшего создания вакцин. Понятно, что расшифровка генома – это сложная, в том числе и математическая задача, решаемая средствами современной вычислительной техники. Особую важность приобретает создание оригинальных алгоритмов, которые могут создавать биологи и биотехнологи. Недаром появилась новая отрасль – биоинформатика.

Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) определено, что «Исследования в области системной биологии и биоинформатики направлены на решение актуальных задач биологии с использованием современных математических и вычислительных методов. Особую актуальность имеет разработка алгоритмов и программ для высокоэффективной функциональной аннотации геномов, транскриптомов, протеомов, метаболомов микроорганизмов, растений, животных и человека, создание теоретических основ и методических подходов к изучению сетевых динамических взаимодействий биомолекул» [3].

В действующем перечне специальностей высшего образования есть специальность 06.05.01 «Биоинженерия и биоинформатика» относящиеся к биологическим наукам. Кроме того, в рамках некоторых других направлений подготовки имеются профили и магистерские программы по биоинформатике. Примерами могут служить такие профили и магистерские программы, как профиль «Биоинформатика» бакалавриата 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», магистерская программа «Прикладная математика и биоинформатика» магистратуры 01.04.02. Как отдельная дисциплина «Биоинформатика» присутствует в программах бакалавриата некоторых вузов в направлении 09.03.03 «Прикладная информатика». Также существует программа специалитета 30.05.03 «Медицинская кибернетика». по специализации «Цифровая медицина и биоинформатика».

ФГОС ВО по специальности 06.05.01 установлены следующие общепрофессиональные компетенции [4]:

ОПК-1. Способен проводить наблюдения, описания, идентификацию и научную классификацию организмов (прокариот, грибов, растений и животных);

ОПК-2. Способен использовать специализированные знания фундаментальных разделов математики, физики, химии и биологии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей);

ОПК-3. Способен проводить экспериментальную работу с организмами и клетками, использовать физико-химические методы исследования макромолекул, математические методы обработки результатов биологических исследований;

ОПК-4. Способен применять методы биоинженерии и биоинформатики для получения новых знаний и для получения биологических объектов с целенаправленно измененными свойствами, проводить анализ результатов и методического опыта исследования, определять практическую значимость исследования;

ОПК-5. Способен находить и использовать информацию, накопленную в базах данных по биологическим объектам, включая нуклеиновые кислоты и белки, владеть основными биоинформатическими средствами анализа;

ОПК-6. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;

ОПК-7. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

Профессиональные компетенции определяются образовательной организацией самостоятельно на основе профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников (при наличии) – однако таких профессиональных стандартов в настоящее время не существует.

Приведем примеры дисциплин, которые преподаются в вузах для получения этих или подобных компетенций.

Так, в МГУ им. М.В. Ломоносова [5] на факультете биоинженерии и биоинформатики ведется подготовка специалистов по направлению 06.05.01 «Биоинженерия и биоинформатика». В учебном плане этой специальности имеются следующие дисциплины – в базовой части: математика (математический анализ, линейная алгебра, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, математическая статистика, комбинаторика) – всего 25 з.е., физика – 6 з.е., химия (общая и неорганическая химия, органическая химия) – 13 з.е., биология (зоология беспозвоночных, зоология позвоночных, ботаника низших растений, ботаника высших растений, клеточная биология) – 19 з.е., биоинженерия (генная инженерия, клеточная инженерия, инженерная энзимология – 15 з.е., биоинформатика – 16 з.е.; в вариативной части: основы молекулярной биологии – 6 з.е., аналитическая химия – 5 з.е., физическая химия – 6 з.е., физиология и человека животных – 5 з.е., генетика – 4 з.е., биохимия – 8 з.е., микробиология – 5 з.е., кинетика и механизмы ферментативных реакций – 6 з.е., биоэнергетика – 3 з.е., эмбриология – 4 з.е., гистология – 3 з.е., биоэтика – 2 з.е., молекулярная биология – 3 з.е., эволюционная биология – 3 з.е., белковая инженерия – 3 з.е., медицинская биохимия – 3 з.е., молекулярная биология клетки – 2 з.е. и ряд курсов по выбору.

В СПбПУ Петра Великого [6] в институте прикладной математики и механики в бакалавриате 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» в профиле «Биоинформатика» имеются следующие профильные дисциплины: Общая биология, Молекулярная биология, Языки программирования Python и R, Математическая статистика, Методы интеллектуального анализа данных, Биоинформатика, Системная биология, Методы оптимизации, Уравнения математической физики, Дискретная математика. В магистерской программе 01.04.02_01 «Прикладная математика и биоинформатика» профильные дисциплины: Молекулярная биология, Спецглавы молекулярной биологии, Дополнительные разделы математической статистики, Интеллектуальный анализ данных, Спецглавы биоинформатики, Математические модели в биологии, Параллельные вычисления.

В РНИМЦ им. Н.И. Пирогова [7] на медико-биологическом факультете в специалитете 30.05.03 Медицинская кибернетика, математика, направленность (профиль) Биоинформатика дисциплины в базовой части: Биология 9 з.е., Высшая математика – 12 з.е., Общая морфология – 9 з.е., Органическая химия – 3 з.е., Биоэтика – 2 з.е., Физическая химия – 2 з.е., Биохимия – 8 з.е., Информатика и основы программирования – 8 з.е., Теоретические основы кибернетики – 8 з.е., Математическая биология – 7 з.е., микробиология, вирусология – 7 з.е., Молекулярная биология и генетика – 7 з.е., Иммунология – 3 з.е., Молекулярная фармакология – 9 з.е., Биоинформатика – 3 з.е., Общая биофизика – 3 з.е.;

В вариативной части: Статистический анализ данных – 3 з.е., Статистический язык программирования R – 3 з.е., Молекулярная физиология – 3 з.е., Функциональная геномика – 3 з.е., Системная биология – 3 з.е. Клиническая биоинформатика – 3 з.е., Медицинская геномика – 3 з.е., Алгоритмы биоинформатики 3 з.е., Анализ биологических последовательностей – 3 з.е., Хемоинформатика – 3 з.е., Компьютерное конструирование лекарств – 3 з.е.

Из приведенных данных видно, что профиль «Биоинформатика» возможен для некоторых близких по содержанию направлений и специальностей. Точно также он возможен для направления «Биотехнология».

Предлагаем следующие дополнительные к направлению «Биотехнология» профессиональные компетенции (ДПК):

Профиль бакалавриата	Магистерская программа
ДПК-1. Способен использовать специализированные знания фундаментальных разделов математики, физики, химии и биологии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей);	ДПК-1. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;
ДПК-2. Способен проводить экспериментальную работу с организмами и клетками, использовать физико-химические методы исследования макромолекул, математические методы обработки результатов биологических исследований;	ДПК-2. Способен определять новые области исследований и проблемы в сфере моделирования, разрабатывать новые информационные технологии для прогнозирования популяционных изменений
ДПК-3. Способен применять методы биоинженерии и биоинформатики для получения новых знаний и для получения биологических объектов с целенаправленно измененными свойствами, проводить анализ результатов и методического опыта исследования, определять практическую значимость исследования;	ДПК-3. Способен проводить анализ результатов ДНК и РНК секвенирования с использованием биоинформатических методов и ресурсов в научных исследованиях.
ДПК-4. Способен находить и использовать информацию, накопленную в базах данных по биологическим объектам, включая нуклеиновые кислоты и белки, владеть основными биоинформатическими средствами анализа;	ДПК-4. Способен проводить анализ результатов омиксных технологий с использованием методов математической биологии и биоинформатики для поиска новых лекарственных мишеней и биомаркеров, научных и клинических исследований
ДПК-5. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	ДПК-5. Способен использовать методы компьютерного конструирования лекарств для поиска и создания новых лекарственных веществ
ДПК-6. Способен обследовать объекты информатизации, описывать технологические процессы, формировать требования к функциональным возможностям информационных систем (ИС), разрабатывать информационное, лингвистическое, алгоритмическое обеспечение при проектировании ИС и баз данных	ДПК-6. Способен разрабатывать автоматизированные системы консультативной поддержки принятия решений, базируясь на медицинских данных и знаниях, с использованием методов математической статистики, технологий «Больших данных» и Искусственного интеллекта
ДПК-7. Способен использовать методы инженерии знаний при взаимодействии с экспертами предметных областей; применять методологические подходы к формализации и структуризации биотехнологической информации; разрабатывать базы знаний при построении экспертных систем в области профессиональной деятельности.	ДПК-7. Способен разрабатывать системы классификации и кодирования информации в технологии и протоколы обмена данными между информационными системами различного уровня

Для получения этих компетенций предлагаются следующие учебные дисциплины:

Профиль бакалавриата	Магистерская программа
Дисциплины биологической направленности	
Основы молекулярной биологии	Молекулярная биология клетки
Кинетика и механизмы ферментативных реакций	Биоинженерия (генная инженерия, клеточная инженерия, инженерная энзимология)
Биоэнергетика	Белковая инженерия
Генетика	Геномика
Дисциплины математической и информационной направленности	
Теоретические основы кибернетики	Дополнительные разделы биоинформатики
Биоинформатика	Дискретная математика
Алгоритмы биоинформатики	Нейронные сети
Языки программирования	Анализ многомерных данных (Big Data)
Обработка экспериментальных данных и планирование эксперимента	Базы данных и программные продукты в биотехнологии
Методология QSAR	OMICs технологии
Базы данных	Нейронные сети

Список дисциплин является приблизительным, может расширяться и дополняться.

Литература

Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года (ВП-П8–2322). Утверждена Правительством РФ 24.12.2012 № 1853п-П8.

Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Биотехнологии / под. ред. Л.М. Гохберга, М.П. Кирпичникова. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 48 с.

Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

ФГОС ВО 06.05.91 «Биоинженерия и биоинформатика». Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. [http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS % 20VO % 203++/Spec/060501_C_3_18062021.pdf](http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Spec/060501_C_3_18062021.pdf)

Учебный план специальности 06.05.01 «Биоинженерия и биоинформатика» МГУ им. М.В. Ломоносова. [http://www.fbb.msu.ru/doc/index.php? ID=143](http://www.fbb.msu.ru/doc/index.php?ID=143)

Сайт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. https://dep.spbstu.ru/edu/01.03.02/01.03.02_04/, <https://compbio.spbstu.ru/magistratura-bioinformatiki-sistemnoi-biologii/>

Учебный план специальности 30.05.03 «Медицинская кибернетика», профиль «Биоинформатика» Российского национального исследовательского медицинского университета имени Н.И. Пирогова https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Disciplinary/MedCyber/UP/UP_mk_BI_2021.pdf