

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

А.Д.Король



27 июня 2025 г.

Регистрационный №УД- 14008/уч.

**БИО- И НАНОАНАЛИТИКА**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности:

**1-31 05 01 Химия (по направлениям)**

Направление специальности:

1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

**1-31 05 02 Химия лекарственных соединений**

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021 и учебных планов БГУ №G 31-1-008/уч. от 25.05.2021, №G 31-1-233/уч. от 22.03.2022.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

*И.Л.Юркова*, профессор кафедры аналитической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

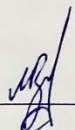
*А.Л.Козлова-Козыревская*, заведующий кафедрой химии и методики преподавания химии учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени М.Танка», кандидат химических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой аналитической химии БГУ  
(протокол № 18 от 19.06.2025)

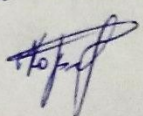
Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



---

М.Ф.Заяц

*Т.В.Ковалюк-Рабкина*  


## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Биоаналитика является междисциплинарной областью знаний, сформированной на стыке аналитической и биологической химии, молекулярной биологии, микробиологии и материаловедения. По сути, это новая инновационная отрасль науки, которая стремительно развивается. Биоанализ составляет огромную часть в различных разделах биотехнологии, постоянно возрастает его значение в развитии инновационной диагностики, системе мониторинга окружающей среды, контроле качества продуктов сельского хозяйства, пищевой и косметической промышленности, анализе наркотических и взрывоопасных веществ и др. Потребности практики определяют необходимость в подготовке высококвалифицированных специалистов в области биоанализа.

На современном этапе особенно возрастает роль функционального биоанализа, целью которого является исследование взаимодействий макромолекул и биологически активных соединений. Понимание основ молекулярного взаимодействия рецептор (белок, ДНК, антитело и т.д.) – лиганд (полисахарид, лекарственное соединение, антиген и т.д.) открывает перспективы в разработке новых диагностических тестов и фармацевтических препаратов.

В биоаналитике в настоящее время особую актуальность приобретают направления, связанные с созданием новых эффективных аналитических платформ на основе современных достижений в нанотехнологии, молекулярной биологии и микроэлектронике, что в целом формирует такое направление как наноаналитика. Для решения биоаналитических задач все более широкое применение находят такие микроаналитические системы как микрочипы (микрофлюидные чипы, биочипы). Наноразмерные компоненты применяются в микросистемах полного аналитического контроля, биосенсорах, преобразователях излучения. Разработка методов с использованием микро- и наносистем дает возможность точного определения ультра малых количеств веществ (вплоть до единичной молекулы) и понимание межмолекулярного взаимодействия на новом уровне. Это дает новые возможности в разработке и создании уникальных лекарственных средств, способствует замене сложных время- и трудоемких лабораторных исследований на ультрачувствительные тест-системы в клинической диагностике, а также развитию персонализированной медицины. В целом развитие методов био- и наноаналитики способствует значительному снижению затрат материальных и человеческих ресурсов в указанных областях и вносит значительный вклад в сохранение здоровья человека и окружающей среды.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель учебной дисциплины** – дать знания о современных высокоселективных методах анализа, базирующихся на использовании биологических молекул; методах анализа биообъектов и биологически активных веществ, включая методы, основанные на использовании биосенсоров и микроаналитических систем - биологических и микрофлюидных чипов; обеспечить формирование у студентов представлений о перспективных

направлениях в области биоанализа с учетом новейших достижений и актуальных задач нано- и биотехнологий, а также достижений в области аналитической инструментальной техники.

**Задачи учебной дисциплины** включают формирование у студентов знаний и умений о:

1. преаналитических этапах в биоанализе;
2. основных биоаналитических методах, базирующихся на использовании биомолекул (ферменты, антитела, ДНК и биомиметические структуры);
3. биосенсорах, и использовании в них наноразмерных компонентов;
4. микроаналитических системах (микрофлюидные чипы, матричные и суспензионные биологические чипы).

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Био- и наноаналитика» относится к модулю «Биохимия и биоаналитика» для *1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)*, к модулю «Нанобиоаналитика» для *1-31 05 02 Химия лекарственных соединений* компонента учреждения высшего образования.

Содержание дисциплины «Био- и наноаналитика» создает универсальную базу для углубленного изучения профессиональных специальных дисциплин, закладывает фундамент для обучения в аспирантуре. Она дает представление о современных подходах и методах исследования объектов; новейших средствах диагностики и анализа, базирующихся на высокоселективных биохимических реакциях, достижениях в области микро- и нанотехнологий и приборной техники.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по дисциплинам: «аналитическая химия», «органическая химия», «физическая химия», «высокомолекулярные соединения».

#### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Био- и наноаналитика» должно обеспечить формирование следующей *специализированной* компетенции:

Ориентироваться в современных направлениях и новейших методах био – и наноаналитики, в том числе основанных на применении достижений микрочиповых и нанотехнологий.

В результате изучения дисциплины «Био- и наноаналитика» студент должен:

**знать:** основные теории, концепции и принципы в области современной биоаналитической химии; методологические подходы к решению биоаналитических задач, требующих определения ультранизких количеств вещества, вплоть до анализа единичных молекул; новейшие достижения в области биоанализа.

**уметь:** выбрать и обосновать оптимальный метод анализа веществ в различных биологических матрицах; разрабатывать биоаналитические методы, необходимые для решения конкретных практических задач; ориентироваться в

современных направлениях в биоаналитике и новейших методах, в том числе основанных на применении достижений микрочиповых и нанотехнологий;

в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики делать переоценку накопленного опыта и приобретать новые знания.

**владеть:** междисциплинарным подходом к решению сложных задач фундаментального и прикладного характера в области биоаналитики.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре для 1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность), в 9 семестре для 1-31 05 02 Химия лекарственных соединений. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Био- и наноаналитика» отведено для очной формы получения высшего образования – 102 часа, в том числе 52 аудиторных часа: лекции – 34 часа, практические занятия – 6 часов, семинарские занятия – 12 часов. Из них:

Лекции – 30 часов, лекции (ДОТ) – 4 часа, практические занятия – 6 часа, семинарские занятия – 8 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Биоаналитика

### ***Тема 1.1 Введение в биоаналитику, ее роль в аналитике на современном этапе. Преаналитика***

Биоаналитика: ее роль в аналитике на современном этапе, понятие, предмет, методы, область применения, основные задачи. Миниатюризация в биоанализе: от биосенсоров к аналитическим микрочипам (биологические и микрофлюидные чипы) и наносенсорам. Нанообъекты для решения задач биоаналитики.

Преаналитика, цель и значение в биоанализе, преаналитические этапы. Методы фракционирования, разделения, очистки и концентрирования компонентов из многокомпонентных систем. Препаративные техники центрифугирования. Методы разделения с использованием мембран. Методы экстракции: экстракция ультразвуком и микроволнами, экстракция твердой фазой, сверхкритическая флюидная экстракция. Методы осадительного разделения компонентов. Способы разделения и концентрирования компонентов пробы с использованием препаративной хроматографии.

### ***Тема 1.2 Капиллярный электрофорез***

Основные понятие и принцип метода капиллярного электрофореза. Электроосмотический поток, способы его управления. Аналитические характеристики метода.

Основные варианты капиллярного электрофореза (зонный, гель-капиллярного электрофореза, изотахофорез, изоэлектрическое фокусирование). Капиллярный аффинный электрофорез. Мицеллярная электрокинетическая капиллярная хроматография.

### ***Тема 1.3 Ферментативный анализ***

Применение ферментов в анализе, преимущества ферментов как аналитических реагентов. Элементы кинетики ферментативных реакций, необходимые для конструирования энзимологических аналитических систем. Уравнение Михаэлиса-Ментен, методы определения его кинетических параметров.

Факторы, влияющие на скорость ферментативных реакций. Ферментативные эффекторы: активаторы и ингибиторы. Типы обратимого ингибирования ферментативных реакций. Каталитическая активность и эффективность ферментов. Каталитическая константа.

Методы определения субстратов и ферментов. Метод начальных скоростей. Метод конечной точки. Сопряженные ферментные системы в анализе. Методы иммобилизации ферментов. Влияние иммобилизации на свойства ферментов и их кинетические параметры.



Способы измерения аналитического сигнала в ферментативных методах (инструментальные методы): оптические, электрохимические, калориметрические. Изотермическая титрационная микрокалориметрия.

#### ***Тема 1.4 Иммунохимический анализ***

Введение в иммунохимический анализ (ИА). Свойства и структура антител. Свойства антигенов: иммуногены, гаптены. Физико-химические закономерности взаимодействия антиген-антитело: аффинность, авидность, специфичность и перекрестная реакционная способность антител. Равновесный диализ – метод определения константы аффинности антител. Реакция иммунопреципитации, кривая иммунопреципитации.

Иммунохимические методы с использованием меченых реагентов. Гомогенные и гетерогенные ИА. Методы отделения реагентов в гетерогенном ИА, пути иммобилизации иммунореагентов на твердую поверхность. Неконкурентный и конкурентный форматы иммунохимического анализа.

Организация и оптимизация иммунохимического анализа, основанного на использовании меченых иммунореагентов, повышение чувствительности иммунохимического метода. Оценка новых тест-систем для иммунохимического определения. Контроль неспецифического связывания в ИА.

Флуоресцентный иммуноанализ (ФИА). Методы гомогенного и гетерогенного ФИА.

Иммуноферментный анализ (ИФА). Методы гетерогенного и гомогенного ИФА. Цифровой ИФА (одномолекулярное детектирование).

Иммунохроматографический анализ (ИХА). Принцип действия иммунохимических тест-систем. Методы ИХА. Дизайн иммунохроматографических тест-полосок.

### **Раздел 2. Наноаналитика**

#### ***Тема 2.1 Биосенсоры. Наноразмерные структуры в биоанализе***

Введение в биосенсорику. «Размерные эффекты» в биоаналитике – от биосенсоров до аналитических микрочипов. Наноматериалы: их применение в биосенсорах и микрочипах для иммобилизации биоконпонентов, в качестве сигнальных меток и транспортировщиков сигнальных меток.

Биосенсоры (БС): определение, строение, классификация и область применения. Аналитические характеристики БС.

Виды биосенсоров. ДНК, аптамерные и МИП-биосенсоры.

Оптические трансдьюсеры: оптоволоконные на основе нарушения полного внутреннего отражения (НПВО), включая НПВО с флуоресценцией; на основе фотонно-кристаллических 2D (волноводы) и 1D структур; на основе поверхностного плазмонного резонанса.

Тандем аналитических биочипов и масс-спектрометрии с «мягкими» методами ионизации: метод масс-спектрометрии с поверхностно-усиленной лазерной десорбцией/ионизацией пробы (ПУЛДИ МС).

## ***Тема 2.2 Микроаналитические системы анализа (биологические и микрофлюидные чипы)***

Преимущества и область применения аналитических микрочиповых систем в анализе.

Биологические чипы (БЧ), основные методы изготовления, разновидности. Принцип работы планарных ДНК- и белковых чипов.

Суспензионные чипы: классические, на основе наноструктур.

Микрофлюидные чипы (МФЧ) – лаборатория на чипе. Виды МФЧ. Факторы, определяющие процессы в микрофлюидике (базовые теоретические принципы).

Основные стадии анализа в МФЧ: загрузка, транспортировка пробы, реагентов и их смешивание, фильтрация и концентрирование пробы, химические реакции, разделение компонентов пробы, детектирование.



## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий  
(ДОТ)

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Биоаналитика</b>	<b>20 + 2 ДОТ</b>	<b>4</b>	<b>4</b>			<b>2</b>	
1.1	Введение в биоаналитику, ее роль в аналитике на современном этапе. Преаналитика	4	2					Выполнение заданий (ответы на контрольные вопросы, решение практических задач). Устный опрос.
1.2	Капиллярный электрофорез	2	2					Выполнение заданий (ответы на контрольные вопросы, решение практических задач). Устный опрос.
1.3	Ферментативный анализ	6 + 2 ДОТ		2			2	Контрольная работа
1.4	Иммунохимический анализ	8		2				Контроль: выполнение тестового задания
<b>2</b>	<b>Наноаналитика</b>	<b>10 + 2 ДОТ</b>	<b>2</b>	<b>4</b>			<b>2</b>	

2.1	Биосенсоры. Наноразмерные структуры в биоанализе	6	2	2			Выполнение заданий (ответы на контрольные вопросы, решение практических задач). Письменный опрос.
2.2	Микроаналитические системы анализа (биологические и микрофлюидные чипы)	4 + 2 ДОТ		2		2	Контроль: творческое задание

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Основная литература**

1. Юркова, Ирина Леонидовна. Биоаналитика : учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования, обуч. по различным направлениям группы спец. "Химия" / И. Л. Юркова ; БГУ. - Минск : РИВШ, 2024. - 336 с.
2. Юркова, Ирина Леонидовна. Нанобиоаналитика : учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования по спец. "Фундаментальная химия", "Химия лекарственных соединений", "Химия (научно-производственная деятельность)", "Химия (фармацевтическая деятельность)" / И. Л. Юркова ; БГУ. - Минск : БГУ, 2019. - 195 с.

### **Дополнительная литература**

1. Юркова, Ирина Леонидовна. Биоаналитика : пособие для студ. учреждений высш. образования, обуч. по спец. 1-31 05 01 "Химия (по напр.)", напр. спец. 1-31 05 01-01 "Химия (науч.-производ. деятельность)" и 1-31 05 01-03 "Химия (фармацевтическая деятельность)", 1-31 05 02 "Химия лекарственных соединений" / И. Л. Юркова ; БГУ. - Минск : БГУ, 2017. - 359 с.
2. Аналитическая химия : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по химико-технологическим направлениям и специальностям : в 3 т. / под ред. А. А. Ищенко. - Москва : Физматлит, 2019 – 2020. - Т. 1 : Химические методы анализа / [авт. коллектив: А. В. Гармаш и др.]. - 2019. - 455 с.
3. Аналитическая химия : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по химико-технологическим направлениям и специальностям : в 3 т. / под ред. А. А. Ищенко. - Москва : Физматлит, 2019 – 2020. - Т. 2 : Инструментальные методы анализа, ч. 1 / [авт. коллектив: Н. В. Алов и др.]. - 2020. - 469 с.
4. Аналитическая химия : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по химико-технологическим направлениям и специальностям : в 3 т. / под ред. А. А. Ищенко. - Москва : Физматлит, 2019 – 2020. - Т. 3 : Инструментальные методы анализа, ч. 2 / [авт. коллектив: С. В. Баландин и др.]. - 2020. - 501 с.
5. Арчаков, А.И. Биоинформатика, геномика и протеомика — наука о жизни XXI столетия / А.И. Арчаков // Вопросы медицинской химии. – 2000. – Т. 46, №1. – С. 3–7.
6. Основы аналитической химии : учебник для студ. вузов, обуч. по хим. направлениям : в 2 т. / под ред. Ю. А. Золотова. - 6-е изд., перераб. и доп. - Москва : Академия, 2014. Т. 1 : / [авт.: Т. А. Большова и др.]. - Москва : Академия, 2014.
7. Основы аналитической химии : учебник для студ. вузов, обуч. по хим. направлениям : в 2 т. / под ред. Ю. А. Золотова. - 6-е изд., перераб. и доп. -

Москва : Академия, 2014. - Т. 2 : / [авт.: Н. В. Алов и др.]. - Москва : Академия, 2014. - 410 с.

8. Аналитическая химия : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Химия" : в 3 т. Т. 1 : Методы идентификации и определения веществ / [авт. тома: А. А. Белюстин и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. - Москва : Академия, 2008. - 575 с.

9. Аналитическая химия : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Химия" : в 3 т. Т. 2 : Методы разделения веществ и гибридные методы анализа / [авт. тома: И. Г. Зенкевич и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. - Москва : Академия, 2008. - 300 с.

10. Аналитическая химия : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Химия" : в 3 т. Т. 3 : Химический анализ / [авт. тома : И. Г. Зенкевич и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. - Москва : Академия, 2010. - 365 с.

11. Беленький, Б. Г. Высокоэффективный капиллярный электрофорез / Б.Г. Беленький. – СПб. : Наука, 2009. – 320 с.

12. Боченков В.Е., Сергеев Г.Б. Наноматериалы для сенсоров / В.Е. Боченков, Г.Б. Сергеев // Успехи химии. - 2007.- Т. 76, № 11. - С. 1084-1093.

13. Микрофлюидные системы для химического анализа / под ред. Ю. А. Золотова, В. Е. Курочкина. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 527 с.

14. Мирзабеков, А.Д. Применение матричных биочипов с иммобилизированной ДНК в биологии и в медицине / А. Д. Мирзабеков, Д. М. Прокопенко, В. Р. Четкин // Информационные медико-биологические технологии / Под ред. В.А. Князева, К.В.Судакова. - М.: ГОЭТАР-МЕД, 2000. - С. 166–198.

15. Нолтинг, Б. Новейшие методы исследования биосистем / Б. Нолтинг ; пер. с англ. Н. Н. Хромова-Борисова. - Москва : Техносфера, 2005. - 254с.

16. Эггинс, Б. Химические и биологические сенсоры = Chemical Sensors and Biosensors / Б. Эггинс ; пер. с англ. М. А. Слинкина с доп. Т. М. Зиминной, В. В. Лучинина. - Москва : Техносфера, 2005. - 336с.

17. Беленький, Б.Г. Микрофлюидные аналитические системы. Ч. I / Б.Г. Беленький [и др.] // Научное приборостроение. – 2000. – Т. 10. – № 2. – С. 57-64.

18. Беленький, Б.Г. Микрофлюидные аналитические системы. Ч. 2 / Б.Г. Беленький [и др.] // Научное приборостроение. – 2000. – Т. 10 – № 3. – С. 3-16.

19. Гендриксон, О.Д. Молекулярно импринтированные полимеры и их применение в биохимическом анализе / О.Д. Гендриксон, А.В. Жердев, Б.Б. Дзантиев // Успехи биологической химии. – 2006. – Т. 46. – С. 149-192.

20. Говорун, В.М., Арчаков А.И. Протеомные технологии в современной медицинской науке / В.М. Говорун, А.И. Арчаков // Биохимия. – 2002. – Т. 67, вып. 10. – С. 1341 – 1359.

21. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.

22. Евдокимов Ю.М. Нанотехнология на основе нуклеиновых кислот / Ю.М. Евдокимов, М.А. Захаров, С.Г. Скуридин // Вестник Российской академии наук. - 2006. - Т.76, N 2. - С.112-120.

23. Евсрапов, А.А. Физические методы управления движением и разделением микрочастиц в жидких средах. Ч. 1. Диэлектрофорез, фотофорез, оптофорез, оптический пинцет / А.А. Евсрапов // Научное приборостроение. – 2005. – Т. 15, №1. – С. 8-21.
24. Ермолаева, Т.Н. Пьезокварцевые иммуносенсоры. Аналитические возможности и перспективы / Т. Н. Ермолаева, Е. Н. Калмыкова // Успехи химии. - 2006. - Т. 75, N 5. - С. 445-459.
25. Заседателев, А.С. Нанобиотехнологии с макро- и микропериферией: биологические микрочипы / А.С. Заседателев // Экология - XXI век. - 2005. - N 3(27). - С.91-93.
26. Кольман, Я. Наглядная биохимия = Color Atlas of Biochemistry / Я. Кольман, К.-Г. Рём ; пер. с англ. Т. П. Мосоловой. - 7-е изд. - Москва : Лаборатория Знаний, 2021. - 509 с.
27. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия органических соединений в начале XXI века = Organic Mass Spectrometry at the Beginning of the 21st Century / А. Т. Лебедев, В. Г. Заикин // Журнал аналитической химии. - 2008. - Т. 63, N 12. - С. 1236-1264.
28. Ленинджер, А. Основы биохимии : в 3 т. Т. 1 / А. Ленинджер ; пер. с англ. В. В. Борисова [и др.] ; пер. с англ. под ред. В. А. Энгельгардта, Я. М. Варшавского. - Москва : Мир, 1985. - 367 с.
29. Ленинджер, А. Основы биохимии : в 3 т. Т. 2 / А. Ленинджер ; пер. с англ. М. Г. Дуниной, С. Н. Преображенского ; под ред. В. А. Энгельгардта, Я. М. Варшавского. - Москва : Мир, 1985. - [4], С. 376–731 : ил.
30. Ленинджер, А. Основы биохимии : в 3 т. Т. 3 / А. Ленинджер ; пер. с англ. В. Г. Горбулева, М. Д. Гроздовой, С. Н. Преображенского ; под ред. В. А. Энгельгардта, Я. М. Варшавского. - Москва : Мир, 1985. - [6], С. 743–1056 : ил.
31. Лисичкин, Г.В. Материалы с молекулярными отпечатками: синтез, свойства, применение / Г. В. Лисичкин, Ю. А. Крутяков // Успехи химии. - 2006. - Т. 75, N 10. - С. 998-1017.
32. Мажуль, В.М. Развитие исследований в области протеомики в Республике Беларусь: фундаментальные и прикладные аспекты / В. М. Мажуль // Наука и инновации. - 2005. - № 7. - С. 42-51.
33. Нартова Ю.В. Массочувствительные иммуносенсоры для определения хлорацетанилидных гербицидов = Mass-Sensitive Immunosensors for Determining Chloroacetanilide Herbicides / Ю. В. Нартова, С. А. Еремин, Т. Н. Ермолаева // Журнал аналитической химии. - 2008. - Т. 63, N 12. - С. 1302-1310.
34. Попечителей, Е.П. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии : Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. подготовки дипломированных спец. "Биомедицинская техника" и "Биомедицинская инженерия" / Е.П.Попечителей, О.Н.Старцева. - М. : Высшая школа, 2003. - 279с.
35. Причард Э. Контроль качества в аналитической химии / Э. Причард, В. Барвик. – СПб.:ЦОП «Профессия», 2011. – 320 с.
36. Пул, Ч. Нанотехнологии : учеб. пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под

ред. Ю. И. Головина. - Изд. 5-е, испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2010. - 330 с.

37. Сид, Дж. В. Супрамолекулярная химия : в 2 т. Т. 1 / Дж. В. Сид, Дж. Л. Этвуд ; пер. с англ. И. Г. Варшавской [и др.] ; под ред. А. Ю. Цивадзе, В. В. Арсланова, А. Д. Гарновского. - Москва : Академкнига, 2007. - 480 с. : ил.

38. Сид Дж. В. Супрамолекулярная химия : в 2 т. Т. 2 / Дж. В. Сид, Дж. Л. Этвуд ; пер. с англ. И. Г. Варшавской [и др.] ; под ред. А. Ю. Цивадзе, В. В. Арсланова, А. Д. Гарновского. - Москва : Академкнига, 2007. - С. 486-895 : ил.

39. Mikkelsen S.R., Corto'n E. Bioanalytical chemistry. / Published by John Wiley & Sons. New Jersey: Inc. Hoboken, 2004. - 361 p.

#### ***Адреса веб-сайтов:***

1. Журнал «Биотехнология»: [www.genetika.ru/journal/](http://www.genetika.ru/journal/)
2. Журнал «Вестник биотехнологии»: [www.biorosinfo.ru](http://www.biorosinfo.ru)
3. Journal of Analytical and Bioanalytical Techniques:  
<http://www.omicsonline.org/jabthome.php>
4. Analytical and Bioanalytical Chemistry:  
<http://www.springer.com/chemistry/analytical+chemistry/journal/216>
5. Bioanalysis: <http://www.future-science.com/loi/bio>
6. Journal of Bioanalysis and Biomedicine:  
<http://www.omicsonline.org/jbabmhhome.php>
7. <http://biomolecula.ru>
8. <http://nano.msu.ru/>
9. <http://biochip.ru/>

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

В перечень средств диагностики результатов учебной деятельности по учебной дисциплине входят:

- задания к семинарским занятиям;
- устный опрос и экспресс-опрос по разделам программы;
- письменные контрольные работы по разделам программы;
- творческое задание.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Био- и наноаналитика» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты,

определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- выполнение творческого задания – 25 %;
- ответы на семинарских занятиях – 25 %;
- выполнение контрольных работ – 25 %;
- выполнение теста – 25 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 30% и экзаменационной отметки - 70%.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы**

#### ***Тема 1.3 Ферментативный анализ (2 часа)***

Факторы, влияющие на скорость ферментативных реакций. Ферментативные эффекторы: активаторы и ингибиторы. Типы обратимого ингибирования ферментативных реакций. Каталитическая активность и эффективность ферментов. Каталитическая константа.

Методы определения субстратов и ферментов. Сопряженные ферментные системы в анализе.

Способы измерения аналитического сигнала в ферментативных методах: изотермическая титрационная микрокалориметрия.

Влияние иммобилизации на свойства ферментов и их кинетические параметры.

Выполнить задания (ответы на контрольные вопросы, решение задач), размещенные на образовательном портале БГУ.

(Формы контроля – контрольная работа).

#### ***Тема 2.2 Микроаналитические системы анализа (биологические и микрофлюидные чипы) (2 часа)***

Принцип работы планарных ДНК- и белковых чипов. Суспензионные чипы: классические, на основе наноструктур (Au-наночастицы, квантовые точки). Тандем аналитических биочипов и масс-спектрометрии с «мягкими» методами ионизации: метод масс-спектрометрии с поверхностно-усиленной лазерной десорбцией/ионизацией пробы (ПУЛДИ МС)

Выполнить задания (ответы на контрольные вопросы, решение задач), размещенные на образовательном портале БГУ.

Создание схемы микрофлюидного чипа для решения конкретной научной и/или практической задачи с использованием материалов курса и оригинальных научных статей.

(Формы контроля – творческое задание).

### **Примерный перечень практических занятий**

Тематика семинарских (практических) занятий соответствует основным темам и разделам учебного курса.



## Пример содержания практических заданий

### Тема 1.1 Введение в биоаналитику, ее роль в аналитике на современном этапе. Преаналитика

**Задача.** Выделение и очистка белка (фермент пероксидаза, термостабильный) из семян сои. Пероксидаза широко применяется в ферментативном анализе. Дополнить протокол, где это требуется.

Фракция фермента	удельная активность (МЕ/мг) (проверяют чистоту фракции)
<i>Сначала получают сырой экстракт:</i> гомогенизируют 50 г семян сои с водой в блендере, далее следует центрифугирование гомогената (15 мин при 10000 об/мин, 4 °С), отбрасывание осадка (в результате остается супернатант)	1.586
<i>Первая стадия очистки методом осаждения.</i> Для высаливания фермента из сырого экстракта используют твердую соль .....( <b>указать какую</b> ), различные степени насыщения 30-85% достигают путем постепенного добавления рассчитанного количества соли. После каждого шага насыщения экстракт центрифугируют (15 мин при 10000 об/мин, 4 °С) и полученный осадок ре-суспендируют в 0.1 М фосфатном буфере, рН 7.0. Фракцию с наибольшей активностью очищают далее.	5.68
<i>Вторая стадия: очистка от соли и концентрирование.</i> Полученную на предыдущей стадии фракцию можно очистить одним из двух методов: 1. мембранная фильтрация ( <b>указать метод и его движущую силу</b> ), параллельно происходит смена среды (на 0.05 М фосфатный буфер, рН 7.0). 2. препаративная хроматография ( <b>указать вид</b> ).	
<i>Третья стадия очистки.</i> С помощью препаративной хроматографии ( <b>указать вид</b> ). Выбор вида хроматографии определяется тем, что пероксидаза существует во многих изоформах (различаются по показателю рI) и большинство форм анионные (рI 3.9; 4.05; 4.78) (отделяем ненужные нейтральные и катионные формы). Связанные с неподвижной фазой белки затем элюируют («снимают») с колонки раствором соли в градиентном режиме (рН = const) ( <b>концентрация соли увеличивается или снижается в градиенте, подчеркнуть нужное</b> ).	9.5

<p><i>Четвертая стадия очистки.</i></p> <p>Из полученного на предыдущем этапе раствора фермента нужно удалить соль и заменить среду на 0.05 М фосфатный буфер, pH 7.0. Для этого применяют препаративную хроматографию (<i>указать вид</i>).</p>	14.948
<p><i>Пятая стадия очистки.</i></p> <p>Используют препаративную хроматографию (<i>указать вид</i>) для получения <b>высокоочищенного</b> препарата.</p>	50.9

### **Тема 1.3. Ферментативный анализ**

*Задача. Определение каталитической эффективности фермента*

Фермент карбоангидраза катализирует гидратацию  $\text{CO}_2$  до угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$  в красных клетках крови. Для реакции при  $\text{pH} = 7.1$ ,  $T = 273.5 \text{ K}$ , концентрации фермента, равной  $2.3 \text{ нмоль/дм}^3$ , были получены следующие данные:

$[\text{CO}_2]$  (ммоль/дм<sup>3</sup>): 1.25; 2.5; 5.0; 20.0

$V$  (ммоль/дм<sup>3</sup> с):  $2.78 \times 10^{-2}$ ;  $5.00 \times 10^{-2}$ ;  $8.33 \times 10^{-2}$ ;  $1.67 \times 10^{-1}$

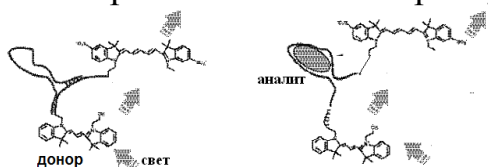
*Задание:* рассчитать каталитическую эффективность фермента.

*Дополнительная информация:*

наклон прямой составляет 40.0; величина отрезка на оси  $y$  равна 4.00

### **Тема 2.1 Биосенсоры**

*Задача 1. I.* Для анализа используют сенсор «молекулярный маяк» (ММ), меченый ФРПЭ-парой. Донор: лвозб. 540 нм, лэмисс. 565 нм; акцептор: лвозб. .... (дополните), лэмисс 650 нм. Укажите на приведенном рис.  $\Lambda$  флуоресценции, при которых регистрируют отсутствие или наличие аналита в пробе и зачеркните лишнюю стрелку, обозначающую флуоресценцию.



II. Есть два сенсора ММ1 и ММ2, которые в отличие от классического ММ с парой флуорофор-тушитель содержат только один флуорофор. Укажите, как в каждом из этих сенсоров реализуется принцип: в отсутствие аналита маяк «выключен» (можно изобразить схематично).

*Задача 2.* Оптоволоконный ППР-сенсор отличается от ППР-сенсора на основе диэлектрической призмы: (1) условиями создания резонанса, (2) большим размером, (3) низкой чувствительностью (*неправильное зачеркните*).

Изменение какого параметра среды в тонком приповерхностном слое на поверхности ППР-трансдьюсера приводит к изменению условий ППР, и лежит в основе высокочувствительного анализа с помощью ППР-сенсоров.

### **Тема 2.2 Микроаналитические системы анализа (биологические и микрофлюидные чипы)**

### Задача 1.

#### I. Классический СБЧ «Luminex»:

(а) как определяют вид аналита (т.е. качественный анализ) и его количество;

(б) при детектировании аналита с помощью проточного цитометра используют два лазера: красный ( $\lambda_{\text{возб}}$  635 нм) для ....., зеленый ( $\lambda_{\text{возб}}$  532 нм) для ..... (дополните);

(в) в отсутствие аналита детектируют сигнал ....., в присутствии - ..... (дополните).

II. Классический СБЧ «Luminex» (код состоит из 2 флуорофоров: эм. 658, эм. 717 нм) имеет ..... кодированных частиц и может одновременно определить ..... аналитов в пробе объемом ....., и в целом выполнить ..... анализов в час (дополните).

Задача 2. I. (а) Какое явление лежит в основе оптических свойств Au-наночастиц, и назовите его три важнейшие особенности, позволяющих с помощью биоконъюгатов AuНЧ детектировать единичные молекулы в сложной многокомпонентной пробе. (б) Какой тип чипа на основе AuНЧ подходит лучше для мультиплексного анализа, а какой для экспресс-анализа.

II. (а) Назовите два вида суспензионных чипов на основе золотых наночастиц (Au-НЧ), на чем основано детектирование в каждом виде; (б) для какого из этих чипов можно использовать простую суспензию Au-НЧ, а не суспензию их биоконъюгатов. (в) Суспензионные чипы на основе нанопроволок более чувствительны, чем на основе наносфер, потому что ..... (дополните).

## Примеры тестовых заданий

### Тема 1.4 Иммунохимический анализ

Задание. Иммунохроматографический анализ. Для создания тест-полоски с низким пределом обнаружения нужно:

- а) выбрать мембрану с высокой скоростью потока жидкости,
- б) выбрать мембрану с низкой скоростью потока жидкости,
- с) тест-зону нужно располагать ближе по отношению к зоне старта,
- д) тест-зону нужно располагать дальше по отношению к зоне старта,
- е) мембрана для тест-полоски должна иметь большие поры.

## Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

Преподавание учебной дисциплины «Био- и наноаналитика» предусматривает проведение лекций, семинарских и практических занятий, которые должны быть обеспечены методическими пособиями и техническими средствами обучения. На лекциях освещаются теоретические вопросы учебной дисциплины. На семинарских занятиях рассматриваются основные понятия и

закономерности, а также сложные или недостаточно освещенные в учебной литературе вопросы программы, теоретические вопросы подтверждаются решением практических заданий. Самостоятельная работа вне аудитории предполагает работу с учебной литературой и выполнение домашних заданий.

Организация учебного процесса по дисциплине «Био- и наноаналитика» предусматривает использованием ряда **инновационных подходов и методов: обучающе-исследовательского, эвристического, практико-ориентированного, развития критического мышления, метода анализа конкретных ситуаций (кейс-метод).**

Учебный процесс, организованный на основе **обучающе-исследовательского принципа**, призван формировать у студентов исследовательские умения, аналитический характер мышления, творческий подход к решению разнообразных задач, умение работать в коллективе в процессе изучения программного материала.

При проведении семинарских и практических занятий студенты обеспечиваются не просто планом занятия, а перечнем вопросов и упражнений, либо творческими проблемными заданиями, которые и станут предметом обсуждения. Желательно использовать проблемные ситуации не на низком, рецептивном уровне, когда преподаватель сам формулирует и разрешает проблему, а на более высоких – репродуктивно-продуктивном и **эвристическом** уровнях. Решение отдельных практических задач предполагает самостоятельную разработку плана проведения полного анализа, включая преаналитическую и аналитическую стадии, что требует от студента не только применения полученных знаний, но также проведения научного поиска.

При проведении практических занятий также используется **кейс-метод**, который предполагает анализ конкретных ситуаций из практики и нахождения оптимального решения на основе информации преподавателя и литературных источников, собственного опыта.

При выполнении заданий на семинарских и практических занятиях осуществляется творческая самореализация обучающихся в процессе создания образовательных продуктов, студенты имеют возможность проявить и усовершенствовать аналитические и оценочные навыки и находить наиболее рациональное решение поставленной проблемы. В итоге обучающийся получает не только определенные знания, но и навыки профессиональной деятельности (**практико-ориентированный подход**), а конечный результат обучения направлен преимущественно не на овладение готовым знанием, а на его выработку. Одновременно развиваются навыки **критического мышления**, связанные с пониманием научной информации и способами ее трансформации.

**Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине «Био- и наноаналитика» наряду с традиционными источниками информации (учебники и учебные пособия, в том числе подготовленные преподавателями БГУ) используются и современные информационные ресурсы. На образовательном портале [educhem.bsu](http://educhem.bsu) размещены учебно-программные материалы, видео-презентации, дополнительный иллюстративный материал по темам курса, задания для самостоятельной подготовки к семинарским занятиям, вопросы для подготовки к экзамену, список рекомендуемой литературы. При выполнении ряда заданий требуется также осуществлять поиск и критический анализ учебной информации на химических сайтах в сети Интернет.

Задания УСР по учебной дисциплине составляются с учетом индивидуальной подготовки студентов и могут быть представлены на разном уровне: от заданий, формирующих достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания, к заданиям, формирующим компетенции на уровне воспроизведения, и далее к заданиям, формирующим компетенции на уровне применения полученных знаний. При этом сохраняется требование к освоению необходимого и достаточного объема учебного материала при освоении курса.

## Примерный перечень вопросов к экзамену

### ТЕМА 1.1 ВВЕДЕНИЕ В БИОАНАЛИТИКУ, ЕЕ РОЛЬ В АНАЛИТИКЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ. ПРЕАНАЛИТИКА

1. Биоаналитика: ее роль в аналитике на современном этапе, понятие, предмет, методы, область применения, главные задачи.

2. Нанобиоаналитика. Миниатюризация в биоанализе: от биосенсоров к аналитическим микрочипам (биочипы, микрофлюидные чипы) и наносенсорам. Нанообъекты для решения задач биоаналитики.

3. Преаналитика, ее цель, значение в анализе сложных биологических проб. Гомогенизация биоматериала: методы, основные требования к выбору среды и условий гомогенизации.

*Методы разделения, очистки и концентрирования компонентов из многокомпонентных систем (методы обработки гомогената):*

4. Препаративное центрифугирование. Дифференциальное центрифугирование. Методы центрифугирования в «градиенте плотности».

5. Методы осадительного разделения компонентов биологических проб (осаждение неорганическими солями, органическими растворителями, полиэлектролитами и полимерами, посредством изменения pH или температуры).

6. Способы разделения и концентрирования компонентов пробы с использованием мембран (диализ, электродиализ, ультрафильтрация, гиперфильтрация, диафильтрация).

7. Методы экстракции компонентов из жидких фаз, используемые на преаналитических этапах в биоанализе. Жидкость-жидкостная экстракция. Твердофазная экстракция.

8. Методы экстракции компонентов из твердых фаз, используемые на преаналитических этапах в биоанализе. Экстракция ультразвуком и микроволнами, сверхкритическая жидкостная экстракция. Преимущества данных способов экстракции в сравнении с классическими методами.

9. Препаративная хроматография. Нормально-фазовая и обращенно-фазовая. Эксклюзионная и ионообменная.

10. Препаративная хроматография. Хроматография гидрофобных взаимодействий, ее разновидность с индуцированием заряда. Аффинная и металл-хелатная хроматография. Мультидименсиональная хроматография.

### ТЕМА 1.2 КАПИЛЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

11. Капиллярный электрофорез (КЭ): принцип метода, электроосмотический поток (ЭОП), скорость ЭОП в капилляре, способы управления ЭОП.

12. КЭ, преимущества метода. Электромиграция частиц в капилляре (скорость и время миграции).

13. КЭ: капилляры, методы ввода проб, методы детектирования (прямое и косвенное).

14. Аналитические характеристики КЭ: эффективность, разрешение, селективность и чувствительность метода. Факторы, влияющие на эффективность КЭ (начальная длина зоны ввода пробы, параметры рабочего буфера; адсорбция веществ на стенках капилляра, температурные эффекты, электродисперсия, добавки в буфер). Способы повышения селективности и чувствительности КЭ. Методы концентрирования пробы в КЭ.

15. Варианты метода КЭ (зонный, гель-КЭ, изотахофорез, изоэлектрическое фокусирование). Методы мобилизации разделенных зон в капиллярном изоэлектрофокусировании.

16. Капиллярный аффинный электрофорез. Мицеллярная электрокинетическая капиллярная хроматография.

### ТЕМА 1.3 ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ АНАЛИЗ

17. Химическая природа и строение ферментов. Способ и механизм действия ферментов. Преимущества ферментов как аналитических реагентов.

18. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Характеристика его кинетических параметров (константа Михаэлиса, максимальная скорость ферментативной реакции). Экспериментальные методы определения кинетических параметров.

19. Ферментативные эффекторы. Активаторы. Ингибиторы (необратимые и обратимые). Кинетические типы обратимого ингибирования: конкурентное, неконкурентное, бесконкурентное.

20. Факторы, влияющие на скорость ферментативных реакций: значение рН, ионная сила, концентрация буферных растворов, температура, концентрация субстратов и ферментов.

21. Каталитическая активность фермента. Единицы ферментативной активности. Каталитическая константа и каталитическая эффективность фермента.

22. Методы определения субстратов и ферментов. Метод начальных скоростей. Метод конечной точки. Сопряженные полиферментные системы, включая циклические.

23. Методы регистрации аналитического сигнала в ферментативных методах (инструментальные методы). Оптические (спектрофотометрия, флуориметрия), электрохимические (амперометрия, потенциометрия, кондуктометрия), калориметрические (изотермическая титрационная калориметрия).

24. Иммобилизация ферментов. Свойства носителей (матриц), используемых для иммобилизации. Методы иммобилизации: физические (адсорбция, захват, капсулирование, включение в двухфазную среду), аффинные и химические (неполимерная ковалентная иммобилизация, поперечная сшивка). Влияние иммобилизации на свойства ферментов: конформационные изменения, стерические факторы, эффект распределения субстрата и протонов (влияние на рН-оптимум), диффузионные ограничения.

### ТЕМА 1.4 ИММУНОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

25. Иммунохимический анализ (ИА), принцип. Антитела (Ат):



структура и методы получения; моно- и поликлональные анти-сыворотки. Антигены (Аг): виды, получение, классификация. Гаптены, получение специфических антител к гаптenu (дизайн конъюгата гаптен-носитель).

26. Факторы, определяющие взаимодействие Ат с Аг. Аффинность и авидность антител. Равновесный диализ – метод определения константы аффинности антител. Специфичность и кросс-реактивность антител. Реакция иммунопреципитации, кривая иммунопреципитации.

27. Иммунохимические методы с использованием меченых антител или антигенов. Классификация данных методов. Преимущества гомогенного иммунохимического анализа. Гетерогенный ИА, способы отделения иммунокомплекса. Твердофазный гетерогенный ИА, пути иммобилизации антитела или антигена на твердую поверхность, этапы твердофазного ИА.

28. Методы по типу реагентов, используемых на первой стадии ИА: неконкурентные (прямой, непрямой, двусторонний или «сэндвич»-метод), конкурентные (прямой и ингибиторный). Обработка результатов. Системы усиления сигнала.

29. Организация и оптимизация иммунохимического анализа, основанного на использовании меченых иммунореагентов, повышение чувствительности иммунохимического метода.

30. Флуоресцентный иммуноанализ (ФИА). Виды гетерогенного ФИА: неконкурентный непрямой и двусторонний с резонансным переносом энергии. ФИА с временным разрешением. Виды гомогенного ФИА: время-разрешенный ФИА с ферстеровским резонансным переносом энергии (ФРПЭ) и флуоресцентный поляризационный анализ.

31. Иммуноферментный анализ (ИФА). Гетерогенный твердофазный иммунный анализ (англ. enzyme linked immunosorbent assay, ELISA). Гомогенный конкурентный ИФА: ферментно-мультиплицируемый иммунный тест-метод (enzyme-multiplied immunoassay technique, EMIT). Гомогенный субстрат-меченый ИФА (англ. Enzyme-release fluorescence immunoassay).

32. Иммунохроматографический анализ (ИХА): принцип и преимущества метода, схемы проведения (неконкурентный прямой двусторонний и конкурентный). Параметры иммунохроматографических тест-полосок: материал (влияние на связывающую способность и скорость потока жидкости вдоль тест-полоски), детектирующие реагенты (т.е. метки); иммунореагенты и дополнительные реагенты.

## ТЕМА 2.1 БИОСЕНСОРЫ. НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ В БИОАНАЛИЗЕ

33. Биосенсоры (БС): определение, основные функциональные блоки, классификация и область применения, методы иммобилизации биологических компонентов. Аналитические характеристики БС.

34. Биосенсоры (классификация по виду биокompонента): ДНК-сенсоры.

35. Аптамерные сенсоры – «молекулярные маяки».

36. Биосенсоры на основе молекулярно-импринтированных полимеров.

37. Оптические трансдьюсеры: оптоволоконные на основе нарушения полного внутреннего отражения (НПВО), включая НПВО с флуоресценцией.

38. Оптические трансдьюсеры на основе фотонно-кристаллических 2D (волноводы) и 1D структур.

39. Оптические трансдьюсеры на основе поверхностного плазмонного резонанса.

## ТЕМА 2.2 МИКРОАНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА (БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОФЛЮИДНЫЕ ЧИПЫ)

40. Биологические чипы (БЧ). Планарные БЧ: основные виды, принцип работы, детектирование.

41. Суспензионные биочипы на основе органических флуорофоров. Оптические свойства наноструктур – наночастиц благородных металлов, квантовых точек, одностенных углеродных нанотрубок, определяющие их использование в качестве спектральных маркеров в БЧ.

42. Суспензионные биочипы на основе Au-наночастиц.

43. Суспензионные биочипы на основе квантовых точек.

44. Тандем аналитических биочипов и масс-спектрометрии (МС) с «мягким» методом ионизации: масс-спектрометрия с поверхностно-усиленной лазерной десорбцией-ионизацией (ПУЛДИ МС), сущность метода.

45. Микрофлюидные чипы, разновидности (классические с непрерывным потоком жидкости и капельные). Факторы, определяющие процессы в микрофлюидике (базовые теоретические принципы).

46. Способы выполнения основных стадий анализа в микрофлюидных чипах: ввод пробы, смешивание реагентов, фильтрация и концентрирование пробы, детектирование.


47. Клапаны в микрофлюидных чипах для регулирования потоков жидкости.

48. Способы транспортировки и разделения частиц в микрофлюидных чипах: диэлектрофорез, электро- и оптосмачивание на диэлектрике.

### ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой аналитической химии  
доктор химических наук, доцент

  
\_\_\_\_\_

М.Ф.Заяц

19.06.2025

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_