

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный №УД- 13663/уч.



## СОВРЕМЕННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности:

**1-31-05-04 Фундаментальная химия**

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 04-2021 и учебного плана БГУ №G 31-1-010/уч. от 25.05.2021.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

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

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**А.Л. Козлова-Козыревская**, заведующий кафедрой химии и методики преподавания химии Белорусского государственного педагогического университета имени М.Танка, кандидат химических наук, доцент;

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой аналитической химии БГУ  
(протокол № 6 от 21.11.2024);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой

  
\_\_\_\_\_

Заяц М.Ф.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

На рубеже XX-XXI веков аналитическая химия претерпевает кардинальные изменения, происходит ее трансформация в междисциплинарную науку - аналитику. Наряду с появлением принципиально новых методов и объектов химического анализа, произошло смещение приоритетных областей от неорганических материалов к биологическим и медицинским объектам и приложениям. Важную часть современной аналитики стала составлять биоаналитика, которая охватывает всю совокупность методов для анализа биологических молекул и биологически активных веществ, а также методы, базирующиеся на применении биомолекул (антител, ферментов, ДНК) для анализа различных объектов.

На современном этапе биоанализ составляет основную часть в различных разделах биотехнологии, постоянно возрастает его значение в развитии инновационной клинической диагностики, системе мониторинга окружающей среды, контроле качества пищевых, сельскохозяйственных и косметических продуктов, наркотических и психотропных средств, криминалистике, в системе безопасности и фармацевтике.

В настоящее время в биоаналитике особую актуальность приобретают направления, связанные с созданием аналитических систем, основанных на современных достижениях нанотехнологии, молекулярной биологии и микроэлектроники. Миниатюризация аналитических систем и мультиплексирование стали основными технологическими платформами для решения биоаналитических задач. Это определяется необходимостью быстрого анализа большого числа чрезвычайно комплексных проб в очень низких объемах с ультранизкой концентрацией компонентов. Современный высокоселективный и ультрачувствительный анализ базируется на использовании биосенсоров, биочипов, микрофлюидных чипов и наносенсоров.

Современные достижения в области спектроскопии, микроскопии наряду с развитием микро/наноаналитических систем сделали возможным анализ единичных молекул, что представляет конечную цель в аналитической химии. Такой анализ открывает новые перспективы в фундаментальном понимании физики, химии и биологии материи.

Основной акцент в развитии анализа делается на разработке неинтруктивных методов анализа материалов и биообъектов в режиме реального времени. Особое место в этой области занимает масс-спектрометрия с «мягкими» методами ионизации и ее тандемы с аналитическими чипами. Развитие такого метода как визуализирующая масс-спектрометрия открыло новую веху в анализе объектов, позволяя получить их уникальные химические карты.

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

**Цель учебной дисциплины** — дать знания о современных высокоселективных ультрачувствительных методах анализа, базирующихся на использовании микро- и наноаналитических систем, наноразмерных материалов; обеспечить формирование у студентов представлений о ключевых

и перспективных направлениях в области современной аналитической химии 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. биосенсорах и использовании в них наноразмерных материалов;
2. матричных и суспензионных биологических чипах;
3. одномолекулярном детектировании;
4. микрофлюидных чипах - классе новых устройств с новыми функциональными, пользовательскими, аналитическими характеристиками;
5. масс-спектрометрии с «мягкими» методами ионизации, включая tandemные методы с ВЭТСХ и аналитическими чипами, а также о визуализирующей масс-спектрометрии.

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

Учебная дисциплина «Современная аналитическая химия» относится к модулю «Современные направления химической науки» компонента учреждения высшего образования.

Содержание дисциплины «Современная аналитическая химия» 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 «Современная аналитическая химия» должно обеспечить формирование следующей специализированной компетенции:

СК Разбираться в современных направлениях аналитической химии, физической химии, электрохимии, химии полимеров, анализировать новейшие методы, основанные на применении достижений компьютерного моделирования, микрочипов и нанотехнологий, физико-химического моделирования, подходы к конструированию сложных макромолекулярных и надмолекулярных структур.

В результате изучения дисциплины «Современная аналитическая химия» студент должен:

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

**уметь:** выбрать и обосновать оптимальный метод анализа комплексных проб в очень низких объемах с ультранизкой концентрацией искомых компонентов; разрабатывать неdestructивные методы анализа проб в режиме реального времени, необходимые для решения конкретных практических задач; ориентироваться в современных направлениях в аналитике и новейших методах, 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 8 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Современная аналитическая химия» отведено для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в 50 аудиторных часов, из них: лекции – 30 часов, практические занятия – 10 часов, семинарские занятия – 10 часов. **Из них:**

лекции – 24 часа + 6 часов ДОТ, практические занятия – 4 часа, семинарские занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Современные тенденции в развитии аналитической химии. Нанобиоаналитика

#### ***Тема 1.1 Введение. Современные тенденции в развитии аналитической химии. Одномолекулярное детектирование***

Современные тенденции в развитии аналитической химии. Роль биоаналитики в аналитике на современном этапе.

Нанобиоаналитика: миниатюризация в биоанализе: от биосенсоров (БС) к микрочипам и наносенсорам. Наноразмерные компоненты в биоанализе. Анализ единичных молекул (одномолекулярное детектирование).

Введение в ферментативный и иммунохимический анализ.

#### ***Тема 1.2 Биосенсоры***

Биосенсоры: определение, строение, область применения. Аналитические характеристики и классификация. Биоконпоненты. Аптамерные сенсоры, Сенсоры на основе молекулярно-импринтированных полимеров.

Методы иммобилизации биораспознающих систем в биосенсорах. Физические методы. Химические методы. Методы ориентированной иммобилизации. Основные требования, недостатки и преимущества каждого метода иммобилизации.

Типы трансдюсеров. Электрохимические трансдюсеры. Амперометрические ферментные биосенсоры. Масс-чувствительные трансдюсеры.

Оптические трансдюсеры: оптоволоконные; на основе поверхностного плазмонного резонанса, фотонно-кристаллических структур, интерферометрии.

#### ***Тема 1.3 Матричные и суспензионные биологические чипы***

Биочипы (БЧ). Матричные (планарные) БЧ: понятие, принцип действия, детектирование, основные методы производства.

Разновидности чипов по молекулярному зонду. ДНК-чипы. Белковые (иммунологические) чипы, форматы анализа.

Суспензионные биочипы. Классические суспензионные БЧ на основе органических флуорофоров.

Применение наноразмерных структур в биочипах. Оптические свойства наночастиц благородных металлов, обусловленные эффектом локализованного плазмонного резонанса.

Суспензионные биочипы на основе наночастиц золота, их преимущества в сравнении с классическими, разновидности.

Флуоресцентные свойства полупроводниковых нанокристаллов и одностенных углеродных нанотрубок.

Суспензионные биочипы на основе квантовых точек.

### ***Тема 1.4 Микрофлюидные чипы***

Микрофлюидные чипы (МФЧ): определение, основные методы изготовления. Использование наноразмерных компонентов в МФЧ. Основные виды: планарные каналные с непрерывным потоком жидкости; капельные каналные и с открытой поверхностью.

Факторы, определяющие процессы в микрофлюидике (базовые теоретические принципы). Ламинарность микрофлюидных потоков, роль диффузии, эффект поверхности в МФЧ. Параметры, используемые для характеристики движения жидкости в МФЧ (числа Рейнольдса, Пекле, Вебера, капиллярное).

Основные стадии анализа в МФЧ. Ввод проб, способы перемешивания реагентов (пассивные, активные), способы фильтрации (пассивные, активные), экстракция, и концентрирование проб. Клапаны в МФЧ для регулирования потоков жидкости. Методы детектирования аналитов в МФЧ-чипах.

Методы транспортировки жидкости в микрофлюидных чипах: электрокинетические методы (электрофорез, диэлектрофорез); методы, базирующиеся на капиллярных эффектах, с помощью поверхностных ультразвуковых волн. Транспорт жидкости в капельной микрофлюидике: электро- и оптосмачивание на диэлектрике.

## **Раздел 2. Масс-спектрометрия с «мягкими» методами ионизации и ее тандемы**

### ***Тема 2.1 Масс-спектрометрия с лазерной десорбцией/ионизацией пробы при содействии матрицы и ее тандемы***

Масс-спектрометрия с лазерной десорбцией/ионизацией пробы при содействии матрицы (МАЛДИ МС). Основной принцип, метод ионизации. Время-пролетный масс-анализатор, используемые в МАЛДИ МС.

Использование микрофлюидных чипов на стадии пробоподготовки в МАЛДИ МС.

Тандем МАЛДИ и высокоэффективной ТСХ.

Визуализирующая МАЛДИ МС.

Тандем аналитических биочипов и МАЛДИ МС: метод масс-спектрометрии с поверхностно-усиленной лазерной десорбцией/ионизацией пробы (ПУЛДИ МС).

Масс-спектрометрия с «мягкими» методами ионизации, используемая в анализе без применения вещества-матрицы. Поверхностно-активируемая лазерная десорбция/ионизация масс-спектрометрия (ПАЛДИ МС), ее разновидность: наноструктурно-инициаторная масс-спектрометрия.

### ***Тема 2.1 Масс-спектрометрия с ионизацией электроспреем***

Масс-спектрометрия с ионизацией электроспреем (или электрораспылением) (ИЭР МС). Основной принцип, метод ионизации. Масс-анализаторы, используемые для анализа ионов, в ИЭР МС: квадрупольный, ионная ловушка.

Использование микрофлюидных чипов на стадии пробоподготовки в масс-спектрометрии с электроспреем.

Масс-спектрометрия с десорбционно-электроспрейной ионизацией (ДЭСИ МС).

Тандемная или многомерная масс-спектрометрия (МС-МС).



## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНА

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>СОВРЕМЕННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ</b>                                                          | <b>30</b>                   | <b>4</b>             | <b>10</b>           | <b>-</b>             |      | <b>6</b>             |                                                                                                  |
| <b>1</b>   | <b>Современные тенденции в развитии аналитической химии. Нанобиоаналитика</b>                   | <b>24</b>                   | <b>4</b>             | <b>8</b>            |                      |      | <b>4</b>             |                                                                                                  |
| 1.1        | Введение. Современные тенденции в развитии аналитической химии. Одномолекулярное детектирование | 4                           |                      |                     |                      |      |                      |                                                                                                  |
| 1.2        | Биосенсоры                                                                                      | 8                           | 2                    | 2                   |                      |      |                      | Выполнение заданий (ответы на контрольные вопросы, решение практических задач).<br>Устный опрос. |
| 1.3        | Матричные и суспензионные биологические чипы                                                    | 6                           | 2                    | 2                   |                      |      | 2                    | Контрольная работа                                                                               |
| 1.4        | Микрофлюидные чипы                                                                              | 6                           |                      | 4                   |                      |      | 2                    | Контроль: творческое задание                                                                     |
| <b>2</b>   | <b>Масс-спектрометрия с «мягкими» методами ионизации и ее тандемы</b>                           | <b>6 ДОТ</b>                |                      | <b>2</b>            |                      |      | <b>2</b>             |                                                                                                  |

|     |                                                                                               |          |  |   |  |   |                                        |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--|---|--|---|----------------------------------------|
| 2.1 | Масс-спектрометрия с лазерной десорбцией/ионизацией пробы при содействии матрицы и ее тандемы | 4<br>ДОТ |  | 2 |  |   | Фронтальный опрос                      |
| 2.2 | Масс-спектрометрия с ионизацией электроспреем                                                 | 2<br>ДОТ |  |   |  | 2 | Контроль: выполнение тестового задания |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. 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.
2. 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.

### 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. Евстапов, А.А. Физические методы управления движением и разделением микрочастиц в жидких средах. Ч. 1. Диэлектрофорез, фотофорез, оптофорез, оптический пинцет / А.А. Евстапов // 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 Immunosenors 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.

1. 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/jbabmhome.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 «Современная аналитическая химия» 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 Матричные и суспензионные биологические биочипы. (2 часа)***

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

(Формы контроля – контрольная работа).

#### ***Тема 1.4 Микрофлюидные чипы. (2 часа)***

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

(Формы контроля – творческое задание).

#### ***Тема 2.2 Масс-спектрометрия с ионизацией электроспреем. (1 час)***

Составление тестовых заданий.

(Формы контроля – тестовые задания).

### **Примерный перечень практических занятий**

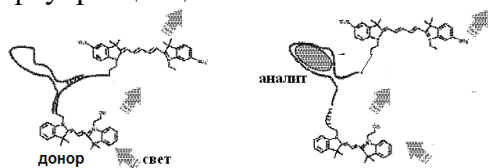
Тематика семинарских (практических) занятий соответствует основным темам и разделам учебного курса.

#### ***Пример содержания практических заданий***

##### **Тема 1.2 Биосенсоры**

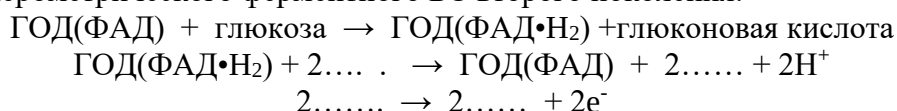
*Задача 1.* I. Для анализа используют сенсор «молекулярный маяк» (ММ), меченый ФРПЭ-парой. Донор: λвзб. 540 нм, λэмисс. 565 нм; акцептор: λвзб. .... (дополните), λэмисс 650 нм. Укажите на приведенном рис. А флуоресценции, при которых регистрируют

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.** Дополните схему реакций, которые протекают при определении глюкозы с помощью амперометрического ферментного БС второго поколения:



Прикладываемый потенциал к рабочему электроду (vs Ag/AgCl) должен быть < или > потенциала восстановления  $\text{O}_2$  (нужное подчеркните).

**Задача 3.** 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-трансдюсера приводит к изменению условий ППР, и лежит в основе высокочувствительного анализа с помощью ППР-сенсоров.

### Тема 1.3 Матричные и суспензионные биочипы

**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 ( $\lambda_{\text{возб}} 635 \text{ нм}$ ) для ....., зеленый ( $\lambda_{\text{возб}} 532 \text{ нм}$ ) 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

**Задание 1.** Какой вид масс-спектрометрии с «мягким» способом ионизации необходимо выбрать для анализа отпечатков пальцев в судебно-медицинском расследовании:



- a) тандем ТСХ-МАЛДИ масс-спектрометрии,
- b) ПУЛДИ масс-спектрометрия,
- c) визуализирующая ДЭСИ масс-спектрометрия,
- d) МАЛДИ масс-спектрометрия.

Задание 2. Для анализа биомаркеров (белки) в биопробе с помощью ДЭСИ масс-спектрометрии следует выбрать следующие геометрические и химические параметры:

- a) угол наклона распылительного капилляра  $\alpha = 35^\circ$ ,
- b) угол наклона распылительного капилляра  $\alpha = 80^\circ$ ,
- c) расстояние угол наклона распылительного капилляра до поверхности пробы  $d_1 = 2$  мм,
- d) расстояние угол наклона распылительного капилляра до поверхности пробы  $d_1 = 9$  мм,
- e) растворитель смесь метанол/вода,
- f) растворитель смесь диэтиловый эфир/вода.

Задание 3. Какой вид масс-спектрометрии с «мягким» способом ионизации позволяет идентифицировать соединения, предварительно разделенные с помощью тонкослойной хроматографии, непосредственно на ТС-пластине:

- a) ПУЛДИ масс-спектрометрия,
- b) ДЭСИ масс-спектрометрия,
- c) ПАЛДИ масс-спектрометрия,
- d) Тандемная масс-спектрометрия (МС-МС).

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

Преподавание учебной дисциплины «Современная аналитическая химия» 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 «Современная аналитическая химия» 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 «Современная аналитическая химия» 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. ВВЕДЕНИЕ

1. Аналитическая химия, определение, ее роль в различных сферах науки и практики. Современные тенденции в развитии аналитической химии, ее эволюция в междисциплинарную науку - аналитику. Роль биоаналитики в аналитике на современном этапе, главные задачи биоаналитики.

Нанобиоаналитика. Миниатюризация в биоанализе: от биосенсоров к аналитическим микросистемам (биологические и микрофлюидные чипы) и наносенсорам. Нанообъекты для решения задач биоаналитики. Одномолекулярное детектирование в биоанализе.

#### ТЕМА 2. БИОСЕНСОРЫ

Биосенсоры (БС): определение, основные функциональные блоки, преимущества, область применения. Классификация БС.

2. Аналитические характеристики биосенсоров: рабочий и линейный диапазон, чувствительность, селективность, предел обнаружения и предел количественного определения, временные параметры.

3. Ферментные биосенсоры (классификация по биоконпоненту).

4. ДНК-сенсоры, иммунные биосенсоры (классификация по биоконпоненту).

5. Аптамерные биосенсоры, аптамерные сенсоры – «молекулярные маяки».

6. Биосенсоры на основе молекулярно-импринтированных полимеров.

7. Иммобилизация биологических компонентов, основные требования к методам, преимущества и недостатки.

8. Физические методы иммобилизации: адсорбция из раствора, включение в матрицу и капсулирование.

9. Химические методы иммобилизации. Ковалентное связывание: общие требования, стратегия химической пришивки биомолекул.

10. Ориентированная ковалентная иммобилизация. Метод самоорганизующихся монослоев.

11. Аффиновые методы иммобилизации.

12. Амперометрические ферментные биосенсоры, основные принципы, первое второе и третье поколение.

13. Амперометрические ферментные биосенсоры с электродами, модифицированными наноматериалами.

14. Вольтамперометрические ДНК-сенсоры.

15. Гравиметрические трансдюсеры: кварцевый микробаланс, трансдюсер на основе поверхностных акустических волн.

16. Гравиметрический трансдюсер: кантилеверный сенсор.

17. Оптические биосенсоры, принцип действия. Оптоволоконные сенсоры.
18. Оптические биосенсоры на основе фотонно-кристаллических волноводов и планарных фотонно-кристаллических структур.
19. Оптические биосенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса.
20. Интерференционные биосенсоры на основе оптических волноводов.

### *ТЕМА 3. МАТРИЧНЫЕ И СУСПЕНЗИОННЫЕ БИОЧИПЫ. НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ В БИОАНАЛИЗЕ*

21. Биологически чипы (БЧ) планарные: принцип работы, производство, детектирование, преимущества.
22. Разновидности чипов по молекулярному зонду. ДНК-чипы. Белковые (иммунологические) чипы, форматы анализа.
23. Суспензионные или жидкие биочипы. Классические суспензионные БЧ на основе органических флуорофоров.
24. Применение наноразмерных структур в биочипах. Оптические свойства наночастиц благородных металлов, обусловленные эффектом локализованного плазмонного резонанса.
25. Суспензионные биочипы на основе наночастиц золота, их преимущества в сравнении с классическими, разновидности.
26. Флуоресцентные свойства полупроводниковых нанокристаллов и одностенных углеродных нанотрубок.
27. Суспензионные биочипы на основе квантовых точек.

### *ТЕМА 4. МИКРОФЛЮИДНЫЕ ЧИПЫ*

28. Микрофлюидные чипы (МФЧ): принцип действия, основные методы изготовления, преимущества, основные виды: плоские прямоугольные и радиальные; капельные с закрытыми каналами и с генерацией капель на поверхности (цифровые МФЧ).
29. Факторы, определяющие процессы в микрофлюидике (базовые теоретические принципы). Ламинарность микрофлюидного потока, роль диффузии. Параметры, используемые для характеристики движения жидкости в МФЧ: числа Рейнольдса, Пекле, Вебера, капиллярное, Кнудсена. Эффект поверхности в МФЧ.
30. Основные стадии анализа в МФЧ. Ввод пробы и перемешивание реагентов в микрофлюидных чипах.
31. Экстракция, фильтрация и концентрирование в микрофлюидных чипах. Методы детектирования аналитов в МФЧ-чипах.
32. Методы транспортировки проб, реагентов и разделение компонентов: электрокинетические методы (электрофорез, диэлектрофорез); методы, базирующиеся на капиллярных эффектах и поверхностных ультразвуковых волнах.
33. Транспортировка жидкости в цифровых МФ-чипах: электро- и оптосмачивание на диэлектрике.

## ТЕМА 5. МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ С «МЯГКИМИ» МЕТОДАМИ ИОНИЗАЦИИ, ЕЕ ТАНДЕМЫ

34. Масс-спектрометрия с лазерной десорбцией/ионизацией пробы при содействии матрицы (МАЛДИ МС): принцип, важнейшие параметры, роль матрицы, пробоподготовка, процессы в ионизационной камере. Времяпролетный масс-анализатор.

35. Тандемный метод ВЭТСХ-МАЛДИ МС.

36. Визуализирующая МАЛДИ МС.

37. Масс-спектрометрия с «мягкими» методами ионизации, используемая в анализе без применения вещества-матрицы: поверхностно-активируемая лазерная десорбция/ионизация масс-спектрометрия (ПАЛДИ МС); наноструктурно-инициаторная масс-спектрометрия.

38. Тандем МАЛДИ и биочипов: масс-спектрометрии с поверхностно-усиленной лазерной десорбцией-ионизацией (ПУЛДИ МС).

39. Масс-спектрометрия с ионизацией электроспреем (ИЭР МС), принцип ионизации. Масс-анализаторы, используемые для анализа ионов, в ИЭР МС: квадрупольный, ионная ловушка.

40. Масс-спектрометрия с десорбционно-электроспрейной ионизацией (ДЭСИ МС).

41. Тандемная или многомерная масс-спектрометрия (МС-МС или МС<sup>n</sup>).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

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

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

## 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,  
д.х.н., доцент



М.Ф. Заяц

21.11.2024 г.