

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



27 июня 2025 г.

Регистрационный № 4103/б.

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ИОНСЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0531-02 Химия лекарственных соединений

Профилизация: Аналитическая биофармахимия

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-02-2023 учебного плана № 6-5.5-42/01, утвержденного 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.Д.Новаковский, доцент кафедры аналитической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

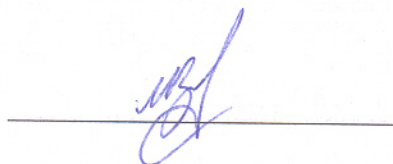
Е.В.Гринюк, директор НИИ ФХП БГУ, кандидат химических наук, доцент;
А.С.Логвинович, доцент кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент

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

 /А.В.Зуряев/

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина нацелена на углубленное изучение теории и практики потенциометрического метода анализа с использованием ионоселективных электродов. Целесообразность ее изучения обусловлена тем, что в последнее время наметилась отчетливая тенденция к возрастанию роли сенсоров в решении самых разнообразных задач химического анализа. Эти миниатюрные устройства, способные реагировать на изменение концентрации аналита в анализируемом объекте соответствующим изменением аналитического сигнала, отличаются сравнительной простотой и исключительно низкой стоимостью и являются в ряде случаев конкурентоспособными с самым совершенным дорогостоящим аналитическим оборудованием не только в плане стоимости анализа, но и по метрологическим характеристикам. Ионоселективные электроды представляют собой один из наиболее многочисленных классов электрохимических сенсоров и позволяют определять концентрацию (активность) ионов в растворах.

Благодаря ряду неоспоримых достоинств (простота и низкая стоимость оборудования, простота пробоподготовки, возможность работы в мутных и окрашенных средах, высокая селективность, чувствительность, экспрессность, широкий концентрационный диапазон функционирования, возможность осуществления неразрушающего контроля, мониторинга, легкость автоматизации и др.) потенциометрический метод анализа нашел широчайшее применение в самых различных областях: биохимии, экологии, агрохимии, почвоведении, геохимии, химической технологии, в научных химических и биохимических исследованиях. В то же время работа с ионоселективными электродами требует определенных практических навыков, а в ряде случаев – и глубокого понимания механизмов генерирования аналитического сигнала и факторов, ответственных за рабочие характеристики электродов.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цели учебной дисциплины:

1. Дать студентам минимально достаточную базу знаний, позволяющую ориентироваться в вопросах применения электродов различных типов в химическом анализе и выбирать приемлемые варианты методик;
2. Привить студентам практические навыки работы с ионоселективными электродами.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование у студентов четкого представления о круге задач, решаемых с использованием потенциометрического метода анализа, в частности, с помощью ионоселективных электродов, о возможностях и ограничениях потенциометрического метода анализа;
2. Познакомить будущих химиков-аналитиков с имеющимся ассортиментом ионоселективных электродов и арсеналом разработанных методов их использования в вариантах как прямой потенциометрии, так и потенциометрического титрования.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Химико-аналитическая экспертиза» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами. Учебная дисциплина «Качество и безопасность пищевых продуктов» базируется на знаниях, полученных студентами ранее в ходе изучения дисциплин «Аналитическая химия», «Физико-химические методы анализа», «Органическая химия», «Неорганическая химия».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Потенциометрические методы анализа и принцип работы ионселективных электродов» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Выполнять химико-аналитические задачи в испытательных и научно-исследовательских лабораториях химико-фармацевтического профиля.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- устройство и принцип действия ионоселективных электродов различных типов;
- характер практических и научных задач, решаемых с помощью ионоселективных электродов;
- основные варианты использования ионоселективных электродов в анализе;
- факторы, ответственные за основные рабочие характеристики электродов.

уметь:

- обращаться с ионоселективными электродами и потенциометрическим оборудованием;
- выбирать оптимальные варианты применения электродов, в зависимости от решаемой практической задачи;
- определять важнейшие аналитические характеристики электродов;
- находить и устранять типичные неисправности;
- проводить обработку и интерпретацию первичных экспериментальных данных.

иметь навыки:

- потенциометрического метода анализа с использованием ионоселективных электродов и основными техническими приемами их использования в вариантах прямой потенциометрии и потенциометрического титрования.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Потенциометрические методы анализа и принцип работы ионселективных электродов» отведено для очной формы получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов: лекции – 20 часов, лабораторные занятия – 12 часов, семинарские занятия – 4 часа. Из них:

Лекции – 20 часов, семинарские занятия – 2 часа, лабораторные занятия – 12 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Основные термины, понятия и теоретические положения потенциометрии.

Тема 1.1. Введение. Основные термины и понятия потенциометрии. Электрические явления на границах раздела фаз.

Принцип метода. История возникновения и развития. Достоинства и ограничения потенциометрического метода, его место среди других методов анализа.

Индикаторные электроды и электроды сравнения. Внутренний потенциал фазы. Межфазовый (гальвани-) потенциал.

Механизмы возникновения потенциала на границах раздела фаз. Теория Нернста. Основное уравнение потенциометрии. Правила знаков э.д.с. и электродных потенциалов.

Тема 1.2. Основные типы немембранных электродов. Электроды сравнения. Диффузионный потенциал, способы его оценки и устранения.

Ионно-металлические электроды первого рода. Металл-амальгамные электроды. Металл-солевые электроды второго рода. Хлорид-серебряный электрод. Металл-оксидные электроды второго рода. Ртутно-оксидный и сурьмяно-оксидный электроды. Газовые электроды первого рода, обратимые по катионам и анионам. Водородный электрод.

Окислительно-восстановительные (ред-окси) электроды (простые и сложные). Хингидронный электрод. Медиаторы потенциала.

Электроды сравнения – хлорид-серебряный и каломельный. Конструктивные особенности.

Диффузионный потенциал. Приближение Гендерсона. Практически важные частные случаи. Методы элиминирования диффузионного потенциала. Электроды сравнения с двойным солевым мостом.

Раздел 2. Мембранные (ионоселективные) электроды

Тема 2.1. Стекланные электроды. Электроды на основе труднорастворимых кристаллических осадков.

Распределение заряженных частиц между фазами. Понятие электрохимического потенциала. Условие Гуттенгейма.

Общие требования к мембранным материалам. Стекло как ионообменник. Основные требования к свойствам стекла. Роль модификатора. Стекла с водородной функцией. Потенциалопределяющая реакция.

Щелочная ошибка стеклянного электрода. Ионообменная теория селективности Никольского. Кислотная ошибка стеклянного электрода.

Влияние подвижностей ионов в мембране на потенциал. Уравнение Эйзенмана-Никольского.

Влияние второго модификатора на селективность. Стекла с расширенным диапазоном водородной функции. Влияние второго стеклообразователя. Стекла с функциями катионов щелочных металлов.

Ограничения простой теории Никольского. Общая (модифицированная) теория Никольского-Шульца.

Стеклянные электроды с ред-окси функцией, их преимущества перед ред-окси электродами на основе благородных металлов. Твердоконтактные стеклянные электроды (без внутреннего заполнения). Электроды на основе халькогенидных стекол с функциями тяжелых металлов.

Моно- и поликристаллические гомофазные мембраны. Лантан-фторидный электрод. Галогенид-серебряные электроды. Сульфид-серебряный электрод.

Электроды на основе халькогенидов двухвалентных металлов с сульфид-серебряной матрицей.

Потенциалопределяющая реакция. Факторы, определяющие нижний предел обнаружения (теория Морфа). Механизмы влияния посторонних катионов и анионов на электродный потенциал.

Природа электродной селективности. Взаимосвязь селективности с произведением растворимости. Ряд анионной селективности. Реальные коэффициенты селективности. Теория Хуланицкого-Левенштама.

Тема 2.2. Электроды с жидкими и пленочными мембранами на основе жидких ионообменников и нейтральных переносчиков

История создания. Конструктивные особенности. Общие требования к мембранным материалам. Важнейшие ионообменники и пластификаторы.

Электроды на основе жидких ионообменников. Механизм возникновения потенциала. Потенциал распределения как функция стандартных свободных энергий переноса катиона и аниона. Роль ионообменника.

Природа селективности полностью диссоциированных мембран. Ряд Гофмейстера. Характерные примеры влияния природы растворителя (пластификатора) на селективность

Влияние ионной ассоциации на селективность ИСЭ. Зависимость селективности от природы ионообменника (важнейшие примеры). Взаимосвязь между ионообменной и потенциометрической селективностью. Невозможность полного преобразования ионообменной селективности в потенциометрическую. Пути повышения селективности с ионообменными мембранами. Роль липофильной диссоциирующей добавки. Важнейшие электроды на основе жидких ионообменников.

Электроды на основе нейтральных переносчиков. Определение нейтрального переносчика. Роль ионообменника. Количественное описание потенциометрической селективности ИСЭ на основе нейтральных переносчиков. Молекулярные аспекты электродной селективности.

Тема 2.3. Основные аналитические характеристики ионселективных электродов и факторы, их определяющие.

Коэффициент потенциометрической селективности. Рекомендуемые

ИЮПАК методы определения.

Метод смешанных растворов. Метод отдельных растворов (варианты равных концентраций и равных потенциалов). Зависимость экспериментально определяемых коэффициентов селективности от условий определения. Фундаментальные проблемы экспериментального определения коэффициентов селективности. Неадекватность уравнения Эйзенмана-Никольского применительно к ионам, различающимся величиной заряда. Модифицированный метод отдельных растворов. Предельные (термодинамически обусловленные) коэффициенты селективности.

Нижний предел обнаружения и факторы, его определяющие: экстракция электродно-активных веществ из мембраны в приэлектродный слой исследуемого раствора; влияние посторонних ионов (приближения Никольского и Хуланицкого), трансмембранный перенос определяемых ионов из внутреннего раствора сравнения. Пути снижения нижнего предела обнаружения.

Верхний предел обнаружения и факторы, его определяющие. Влияние ко-ионов на вид электродной функции ИСЭ на основе жидких ионообменников.

Анионные функции катионселективных электродов на основе нейтральных переносчиков: механизм возникновения и пути устранения. Время отклика и время жизни ИСЭ, и факторы, их определяющие.

Раздел 3. Сложные устройства на основе ионоселективных электродов

Тема 3.1. Газовые селективные электроды, ферментные электроды, ионоселективные полевые транзисторы.

Газовые селективные электроды: устройство, механизм функционирования, важнейшие представители.

Ферментные электроды: устройство, механизм функционирования, техника измерений, важнейшие представители.

Ионоселективные полевые транзисторы.

Приборы для проточно-инжекционного анализа.

Раздел 4. Работа с ионоселективными электродами

Тема 4.1. Применение методов потенциометрии для определения органических и неорганических ингредиентов в лекарственных формах.

Зависимость коэффициентов селективности от гидрофобности физиологически активных катионов и анионов, природы растворителя и ионообменника.

Важнейшие электроды на основе жидких ионообменников для определения физиологически активных катионов и анионов.

Важнейшие нейтральные переносчики для определения физиологически активных катионов и анионов и электроды на их основе.

pH исследуемого раствора как фактор управления потенциометрической

селективностью электродов, обратимых к органическим катионам и анионам.

Примеры практического применения ИСЭ для определения физиологически активных катионов и анионов (витаминов, антибиотиков, анестетиков, нейролептиков, антисептиков, противовирусных препаратов и др.)

Тема 4.2. Основные источники погрешности при работе с ионоселективными электродами и пути их устранения.

Влияние ионной силы раствора. Влияние посторонних ионов.

Приборная ошибка измерения потенциала. Влияние температуры.

Временной дрейф потенциала. Погрешность приготовления градуировочных растворов.

Влияние электрода сравнения. Эффект памяти измерительного электрода. Влияние переотмывки измерительного электрода (эффект Хуланицкого). Влияние перемешивания. Влияние времени выполнения измерений.

Реальная точность измерений при работе с ИСЭ в вариантах прямой потенциометрии и потенциометрического титрования.

Основные правила эксплуатации, обслуживания и хранения электродов. Поиск и устранение неисправностей при работе с ИСЭ.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы.	Количество аудиторных часов			Количество часов УСП	Формы контроля знаний
		лекции	семинарские занятия	лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные термины, понятия и теоретические положения потенциометрии.					
1.1	Введение. Основные термины и понятия потенциометрии. Электрические явления на границах раздела фаз.	2				Дискуссия
1.2	Основные типы немембранных электродов. Электроды сравнения. Диффузионный потенциал, способы его оценки и устранения.	2				Собеседование, устные ответы
2.	Мембранные (ионоселективные) электроды.					
2.1	Стеклянные электроды. Электроды на основе труднорастворимых кристаллических осадков.	4	1		1	Дискуссия, контрольная работа
2.2	Электроды с жидкими и пленочными мембранами на основе жидких ионообменников и нейтральных переносчиков.	4	1			Собеседование, устные ответы
2.3	Основные аналитические характеристики ионселективных электродов и факторы, их определяющие.	2				Устные ответы
3.	Сложные устройства на основе ионоселективных электродов.					

3.1	Газовые селективные электроды, ферментные электроды, ионоселективные полевые транзисторы.	2				Собеседование, устные ответы
4	Работа с ионоселективными электродами.					
4.1	Применение методов потенциометрии для определения органических и неорганических ингредиентов в лекарственных формах.	2		12	1	Защита отчета по лабораторной работе, контрольная работа
4.2	Основные источники погрешности при работе с ионоселективными электродами и пути их устранения.	2				Собеседование, устные ответы
	Итого:	20	2	12	2	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Белюстин, А. А. Потенциометрия: физико-химические основы и применения : учебное пособие / А. А. Белюстин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 336 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211916>
2. Латышенко, К. П. Электрохимические методы анализа : учебник для вузов / К. П. Латышенко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 161 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/559035>
3. Практическое руководство по электрохимическим методам анализа : учебник для вузов / Г. А. Коваленко, Д. Б. Кальный, В. В. Коковкин, П. Е. Плюснин. - Москва : Юрайт, 2025. - 73 с. - - URL: <https://urait.ru/bcode/568931>

Дополнительная литература

1. K. N. Mikhelson. Ion-Selective Electrodes. – Heidelberg–New York–Dordrecht–London: Springer. 2013, 162 p.
2. Камман, К. Работа с ионселективными электродами / К. Камман ; под ред. О. М. Петрухина ; пер. с нем. А. Ф. Жукова. - Москва : Мир, 1980. - 283 с.
3. Никольский, Б. П. Стекланный электрод и химическое строение стекол / Б. П. Никольский, М. М. Шульц., А.А. Белюстин.– М.: Знание. 1971. – 64 с.
4. Ионометрия в неорганическом анализе / Л. А. Демина [и др.]. - Москва : Химия, 1991. - 192 с.
5. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия : учеб. пособие для студ., обуч. по напр. подготовки "Химия" / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. - Изд. 3-е, испр. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015. - 670 с.
6. Лукомский, Юрий Яковлевич. Физико-химические основы электрохимии : [учеб. пособие] / Ю. Я. Лукомский, Ю. Д. Гамбург. - 2-е изд., испр. - Долгопрудный : Интеллект, 2013. - 446 с.
7. Морф, Вернер Е. Принципы работы ионоселективных электродов и мембранный транспорт / Вернер Е. Морф ; пер. с англ. А. Ф. Жукова [и др.] ; под ред. О. М. Петрухина. - Москва : Мир, 1985. - 280 с.
8. Мартынов, Л. Ю. Физико-химические методы анализа. Потенциометрия : учебное пособие / Л. Ю. Мартынов, Р. Д. Соловов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 32 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/265571>

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации: дискуссии, собеседования, устные ответы, контрольные работы, защита отчета по лабораторной работе.

При выставлении отметки за отчеты по лабораторным работам учитывается: достоверность и точность полученных экспериментальных результатов, правильность их письменного оформления, владение теоретическим материалом, лежащим в основе данной лабораторной работы.

Отметка за контрольные работы выставляется исходя из правильности, полноты и точности ответов, корректности расчётов и соблюдения метрологических требований к ним (для расчётных заданий).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Потенциометрические методы анализа и принцип работы ионселективных электродов» учебным планом предусмотрен зачет.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 2.1. Стеклянные электроды. Электроды на основе труднорастворимых кристаллических осадков (1 час)

Варианты заданий:

1. Устройство и принцип действия стеклянного электрода для определения рН.
2. Влияние стеклообразователя и модификатора на селективность стеклянных электродов.
3. Щелочная ошибка стеклянного электрода.
4. Ионообменная теория селективности Никольского.
5. Теория Эйзенмана-Никольского.
6. Стеклянные электроды с функциями щелочных металлов.
7. Устройство и принцип действия электродов на основе труднорастворимых кристаллических осадков.
8. Электроды на основе галогенидов и псевдогалогенидов серебра.
9. Электроды на основе смешанных осадков сульфида серебра и сульфидов тяжелых металлов.
10. Лантан-фторидный электрод.
11. Теория селективности электродов на основе труднорастворимых кристаллических осадков.
12. Основные механизмы влияния посторонних ионов на потенциал электродов на основе труднорастворимых кристаллических осадков.
13. Решение типовых расчетных задач.

Форма контроля знаний: контрольная работа.

Тема 4.1. Применение методов потенциометрии для определения органических и неорганических ингредиентов в лекарственных формах (1 час)

Варианты заданий:

1. Зависимость коэффициентов селективности от:
 - гидрофобности физиологически активных катионов и анионов;
 - природы растворителя;
 - природы ионообменника;
 - наличия в мембране нейтрального переносчика.
 2. pH исследуемого раствора как фактор управления потенциометрической селективностью электродов, обратимых к органическим катионам и анионам.
 3. Примеры практического применения ИСЭ для определения физиологически активных катионов и анионов (витаминов, антибиотиков, анестетиков, нейролептиков, антисептиков, противовирусных препаратов и др.).
 4. Решение типовых задач.
- Форма контроля знаний: контрольная работа.

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная занятие № 1. Прямая потенциометрия.

*Исследование характеристик димедрол-селективного электрода и определение содержания димедрола в таблетках методом прямой потенциометрии. Определение нижнего предела обнаружения (НПО) димедрол-СЭ. Определение коэффициентов селективности димедрол-СЭ по отношению к неорганическим катионам методом отдельных растворов. Прямое потенциометрическое определение димедрола в таблетках методами: *ограничивающих растворов; стандартного раствора; *добавок; *Грана.

*Исследование характеристик ибупрофен-селективного электрода и определение содержания ибупрофена в таблетках методом прямой потенциометрии. Определение нижнего предела обнаружения (НПО) ибупрофен-СЭ. Определение коэффициентов селективности ибупрофен-СЭ по отношению к неорганическим анионам методом отдельных растворов. Прямое потенциометрическое определение ибупрофена в таблетках методами ограничивающих растворов и стандартного раствора.

*Исследование характеристик римантадин-селективного электрода и определение римантадина в лекарственном препарате «Гриппомикс» методом прямой потенциометрии с использованием ИСЭ. Определение коэффициентов селективности римантадин-селективных электродов по отношению к цетиризину методом отдельных растворов. Определение нижнего предела обнаружения римантадин-СЭ. Определение содержания римантадина в лекформе методом ограничивающих растворов.

Лабораторная работа № 2. Потенциометрическое титрование.

Определение гидрофобных физиологически активных аминов в лекарственных формах методом потенциометрического титрования

тетрафенилборатом натрия с использованием ИСЭ. Определение аминазина в драже; определение динезина в таблетках; определение содержания ганглерона в капсулах.

Темы контрольных работ

Контрольная работа №1

Стеклянные электроды. Электроды на основе труднорастворимых кристаллических осадков.

Контрольная работа №2

Применение методов потенциометрии для определения органических и неорганических ингредиентов в лекарственных формах.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются ***практико-ориентированный подход***.

Практико-ориентированный подход предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Метод группового обучения представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При самостоятельной работе студенты используют предоставленные им в электронной форме преподавателем и/или размещённые на образовательном портале учебную программу по дисциплине, тексты лекций, учебные пособия по дисциплине, методические указания к лабораторным занятиям, контрольные вопросы для подготовки к зачету, а также сторонние информационные ресурсы, рекомендованные преподавателем. Контроль осуществляется в форме контрольных работ, устных и письменных отчетов по лабораторным работам.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Понятия внутреннего потенциала фазы и межфазового потенциала. Причины возникновения межфазового потенциала. Условие Гуттенгейма.
2. Термодинамический вывод равновесного электрического потенциала электрохимической системы. Схематическая запись гальванической ячейки. Правила знаков электродных потенциалов.
3. Металл-солевые электроды 2-го рода. Электроды сравнения. Принцип функционирования и конструкция.
4. Диффузионный потенциал и факторы, его определяющие.
5. Уравнение Гендерсона. Важнейшие частные случаи. Способы элиминирования диффузионного потенциала.
6. Теория функционирования стеклянного электрода. Роль стеклообразователя и модификатора. Факторы, определяющие селективность стеклянных электродов. Уравнение Эйзенмана – Никольского.
7. ИСЭ на основе труднорастворимых кристаллических осадков. Важнейшие представители. Теория функционирования.
8. Факторы, определяющие селективность и нижний предел обнаружения ИСЭ на основе труднорастворимых кристаллических осадков. Основные количественные соотношения.
9. Электроды на основе смешанных сульфидов, обратимые к двухзарядным катионам: важнейшие представители и механизм функционирования.
10. Причины возникновения межфазового потенциала на границе вода – несмешивающийся с ней органический растворитель. Потенциал распределения. Мембранный потенциал.
11. Электроды с жидкими и пластифицированными полимерными мембранами. Важнейшие пластификаторы, ионообменники, нейтральные переносчики.
12. ИСЭ на основе жидких ионообменников. Устройство, теория функционирования, важнейшие представители.
13. Влияние природы растворителя (пластификатора) на селективность ИСЭ на основе жидких ионообменников в случае полной ионной диссоциации в мембране. Основные количественные соотношения.
14. ИСЭ на основе нейтральных переносчиков. Основные компоненты мембраны и их роль. Устройство, теория функционирования, важнейшие представители катион- и анион-селективных электродов.
15. Факторы, определяющие селективность ИСЭ на основе нейтральных переносчиков. Основные количественные соотношения.
16. Анионные функции катионселективных электродов на основе нейтральных переносчиков. Причины возникновения и пути устранения.
17. Коэффициент потенциометрической селективности как функция энергий сольватации - гидратации основного и мешающего ионов и степени их связанности с компонентами мембраны. Основное количественное соотношение.

18. Практические методы определения коэффициентов селективности: метод фиксированного влияния, метод отдельных растворов (варианты равных активностей и равных потенциалов), метод двух растворов, метод согласованных потенциалов, модифицированный метод отдельных растворов.

19. Нижний и верхний пределы обнаружения ИСЭ на основе жидких ионообменников. Основные количественные соотношения.

20. Газовые селективные электроды. Принцип функционирования, конструкция, важнейшие представители.

21. Ферментные электроды. Принцип функционирования, конструкция и особенности методики измерений. Бактериальные, тканевые, гормональные электроды.

22. Применение метода прямой потенциометрии в анализе. Методы градуировочного графика, стандартного раствора, ограничивающих растворов. Их преимущества и недостатки.

23. Ионселективные полевые транзисторы.

24. Использование метода добавок в прямой потенциометрии: добавка исследуемого раствора к стандартному и наоборот; метод добавок с последующим разбавлением; метод двойных добавок.

25. Определение концентрации целевого компонента методом множественных добавок (методом Грана).

26. Основные источники погрешностей метода прямой потенциометрии и пути их минимизации.

27. Перспективы расширения возможностей потенциометрического метода. Мультисенсорные интеллектуальные системы.

28. Проточно-инжекционный анализ и непрерывный проточный анализ с потенциометрическим детектированием.

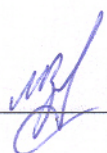
29. pH исследуемого раствора как фактор управления потенциометрической селективностью электродов, обратимых к органическим катионам и анионам.

30. Примеры практического применения ИСЭ для определения физиологически активных катионов и анионов

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
