

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. декана Химического факультета,  
д.х.н., проф.



/С.С. Карлов /

«22» декабря 2023 г.

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**(для осуществления приема на обучение по  
образовательным программам высшего образования -  
программам подготовки научных и научно-педагогических  
кадров в аспирантуре)**

### ***1.5.15 Экология***

Программа утверждена  
Ученым советом факультета  
(протокол № 11 от 21 декабря 2023 г.)

Москва - 2024

# I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.5.15. «Экология» (по химическим наукам). Экологическая химия представляет собой междисциплинарную область знаний, связанную с изучением, контролем и минимизацией воздействия органических и неорганических загрязняющих веществ на все сферы окружающей среды, включая гидросферу, атмосферу, литосферу и биосферу. В связи с этим настоящая программа включает в себя разделы, посвященные общим вопросам строения вещества и химической связи, и общие сведения из курсов органической, аналитической и физической химии, а так же промышленной технологии, необходимые для последующей подготовки специалистов высшей квалификации в области экологической химии. Программа содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

## II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### 1. Основные понятия экологии, строения вещества и термодинамики

Понятие об экологии - наука о взаимодействии организмов (включая человека) между собой и с их средой обитания, изучающая биотические механизмы регуляции и стабилизации окружающей среды, обеспечивающие устойчивость жизни. Понятие экосистемы.

Понятие об экологической химии - наука о химических процессах и взаимодействиях в окружающей среде, включая процессы антропогенного загрязнения окружающей среды и их последствия. Загрязняющее вещество, источник загрязнения.

Электронное строение атома и химическая связь. Типы химических связей. Органические и неорганические соединения. Основные характеристики химических связей в органических соединениях: энергия, длина, полярность, поляризуемость.

Моль вещества, молекулярная масса. Число Авогадро. Низкомолекулярные и высокомолекулярные соединения.

Понятие о молекуле, супрамолекуле и супрамолекулярной химии. Основные типы химических связей, которые реализуются в высокомолекулярных соединениях и супрамолекулярных ансамблях. Примеры высокомолекулярных соединений и супрамолекулярных ансамблей в окружающей среде.

Термодинамические свойства систем, интенсивные и экстенсивные величины, функции состояния и уравнения состояния.

Первый и второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Энергия Гельмгольца, энергия Гиббса.

Растворы. Химический потенциал. Уравнение Гиббса – Дюгема. Закон

действующих масс и константа равновесия.

Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция. Адсорбционные методы исследования дисперсных систем.

Электрохимический потенциал и условия равновесия. ЭДС электрохимического элемента, электродный потенциал. Уравнение Нернста.

Микро- и макросостояния системы. Фазовое пространство. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и ее связь с энтропией. Закрытые и открытые системы. Окружающая среда как открытая система.

## **2. Органическая химия синтетических, природных и загрязняющих веществ**

Строение органических соединений. Гибридизация атома углерода. Ковалентные s- и p-связи. Сопряженные системы и делокализованная химическая связь. Примеры сопряженных систем в природных соединениях.

Строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Полициклические ароматические углеводороды. Теория их канцерогенной активности.

Промышленные и лабораторные методы получения ароматических углеводородов. Каталитический риформинг нефтяного сырья и выделение аренов из продуктов коксования каменного угля. Лабораторные методы: реакция Вюрца-Виттига, тримеризация моно- и дизамещенных алкинов.

Полярность связи. Индуктивный эффект. Мезомерный эффект. Электронодонорные и электроноакцепторные заместители. Внутри- и межмолекулярные взаимодействия в органических соединениях (донорно-акцепторные взаимодействия, водородные связи). Водородные связи в природных соединениях.

Примеры органических кислот и оснований. Факторы, определяющие кислотность и основность. Амины как основания и нуклеофилы. Важность параметра кислотности. Теория жестких и мягких оснований (ЖМКО) Пирсона. Примеры жестких и мягких оснований.

Электрофильное присоединение к алкенам. Присоединение галогенов, галогеноводородов, гидратация, гидрирование. Правило Марковникова. Хлорированные углеводороды как класс загрязняющих веществ.

Озонолиз алкенов, механизм реакции. Окислительное и восстановительное расщепление озонидов. Реакции озонолиза органических соединений как основной механизм окисления в атмосфере. Образование пероксиацетилнитрата.

Реакции нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода как метод создания связей C-C, C-X, C-N, C-P. Классификация механизмов нуклеофильного замещения ( $S_N1$ - и  $S_N2$ -механизмы). Основные характеристики бимолекулярного и мономолекулярного механизмов.

Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе воды, спиртов, тиолов и аминов (кислотный и основной катализ). Защита карбонильной группы.

Альдольная конденсация, механизм. Внутри- и межмолекулярная реакции. Дегидратация альдолей как метод синтеза  $\alpha,\beta$ -ненасыщенных карбонильных соединений. Примеры протекания в биологических системах.

Моносахариды. Классификация. Тетрозы, пентозы и гексозы. Альдозы и кетозы. Глюкоза. Химические свойства: этерификация, восстановление, образование О-гликозидов, различные варианты окисления. Аскорбиновая кислота (витамин С).

Дисахариды: мальтоза, целлобиоза, сахароза. Восстанавливающие и невосстанавливающие дисахариды. Аминосахара. Полисахариды: крахмал, целлюлоза, хитин. Понятие о строении полисахаридов.

Строение жиров и масел. Гидролиз и гидрогенизация жиров. Химизм их прогоркания и антиоксидантное действие витамина Е. Структуры фосфолипидов.

Альфа-Аминокислоты. D и L конфигурация. Способы получения аминокислот. Изоэлектрическая точка. Пептидная связь. Первичная структура белка.

Представление о растительных биополимерах: лигнин, мономерные структурные звенья, природа связей, структура полимера.

Гуминовые вещества как супрамолекулярный продукт окисления лигноуглеводного комплекса. Общие представления о строении и функциональных группах гуминовых веществ.

Органические загрязняющие вещества. Нефтяные углеводороды, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Хлорированные углеводороды: полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные диоксины и дибензофураны. Гидрофобность как свойство органических загрязняющих веществ. Октанольно-водный коэффициент. Гидрофобные взаимодействия. Энергия гидрофобной связи

Азот-, фосфор-, серо- и хлорсодержащие пестициды. Примеры методов получения. Классификация по типу воздействия на живые организмы.

### **3. Аналитическая химия окружающей среды**

Молекула воды: строение и свойства. Водородная связь. Кислотно-основные равновесия. Понятие о протолитической теории кислот и оснований Бренстеда-Лоури. Протолитические равновесия в воде. Характеристика силы слабых кислот и оснований. Константы кислотности, основности и их показатели; рН растворов слабых кислот и слабых оснований. Буферные растворы. Расчет рН.

Окислительно-восстановительные реакции. Окислительно-восстановительные потенциалы. Кинетика окислительно-восстановительных реакций. Влияние рН. Уравнение Нернста.

Основные классы неорганических загрязняющих веществ и их превращения. Тяжелые металлы. Радионуклиды. Гидролиз металлов, комплексообразование, осаждение. Константы комплексообразования. Понятие о комплексонах.

Пробоотбор и пробоподготовка при анализе объектов окружающей среды. Понятие средней пробы и методы ее отбора. Методы разделения и концентрирования.

Методы анализа тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой: принципы, преимущества, области применения. Оптические методы спектрального анализа. Спектрофотометрия и флуоресцентная спектроскопия. Применение оптических методов для анализа вод и почв на содержание тяжелых металлов.

Анализ вод и почв на содержание органических загрязняющих веществ. Хроматографический метод анализа. Газовая и жидкостная хроматография: принципы и области применения. Эффективность хроматографического разделения. Высокоэффективная хроматография.

Масс-спектрометрия: физические принципы. Измерение массы с помощью масс-спектрометра. Основные способы ионизации химических соединений. Жесткая и мягкая ионизация. Способы идентификации органических соединений методом масс-спектрометрии. Понятие о таргетном и нетаргетном анализе.

Понятие токсичности. Острая и хроническая токсичность. Кривая доза-эффект. Количественные показатели токсичности. Бионакопление. Кумулятивный эффект.

#### **4. Промышленные процессы и экология**

Получение питьевой воды и экология. Реагентная очистка. Проблемы загрязнения питьевой воды в результате хлорирования. Альтернативные методы дезинфекции питьевой воды.

Твердые отходы и экология. Свалки. Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО). Проблемы загрязнения окружающей среды свалками и полигонами ТКО. Схема мусоросжигающего завода. Химические основы очистки газовых отходов мусоросжигающих заводов.

Ядерная энергетика и экология. Ядерный топливный цикл. Радиоактивные отходы. Основные способы и проблемы захоронения радиоактивных отходов. Миграция радионуклидов из мест захоронения. Основные принципы радиационной безопасности, направленные на защиту населения.

Биоэнергетика и экология. Возобновляемое и ископаемое сырье. Биомасса как источник сырья. Основные отходы при переработке растительной биомассы и проблемы их утилизации. Биотопливо. Биопластики.

Экологизация промышленного производства. «Зеленая» химия. Двенадцать принципов зеленой химии. Подходы к минимизации воздействия химических производств на окружающую среду.

### **III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ**

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и

список литературных источников. Объем реферата 10-15 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

#### **IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА**

**Вопрос 1.** Ядерный топливный цикл. Радиоактивные отходы. Основные способы и проблемы захоронения радиоактивных отходов. Миграция радионуклидов из мест захоронения. Методы анализа тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой: принципы, преимущества, области применения

**Вопрос 2.** Электронное строение атома и химическая связь. Типы химических связей. Строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Полициклические ароматические углеводороды. Теория их канцерогенной активности. Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция. Адсорбционные методы исследования дисперсных систем.

**Вопрос 3.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

#### **V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

##### **1. ОСНОВНАЯ**

1. Петросян В.С., Шувалова Е.А. Химия и токсикология окружающей среды. М.: 2017. Изд. ООО "Буки Веди", 640 с.
2. Полторацк О.М. Термодинамика в физической химии, М.: 1991, «Высшая школа».
3. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия, ч. 1-4. М.: 1999, Изд. МГУ.
4. Органическая химия: Учеб. для вузов: в 2 кн. / В.Л. Белобородов, С.Э. Зурабян, А.П. Лузин, Н.А. Тюкавкина; Под ред. Н.А. Тюкавкиной. – М. 2002: Дрофа, – Кн. 1: Основной курс. – 640 с.
5. Основы аналитической химии. Учебник для вузов. В 2-х кн. Кн.1. Общие вопросы. Методы разделения. Кн. 2. Методы химического анализа. Под ред. Ю.А. Золотова. М.: 2004. Высшая школа. 361 с., 503 с.
6. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.:2006, Бином, 268 с.
7. Лунин В.В., Локтева Е.С. «Зеленая» химия в России. В сб. Зеленая химия в России. Под ред. В.В. Лунина, П. Тундо, Е.С. Локтевой. М.:2004. Изд-во МГУ, с. 146-162.
8. Ясовеев, М.Г., Какарека Э.В., Шевцова Н.С., Шершнева О.В. Промышленная экология. Минск 2010, 236 с.

## 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Будыко М.И. Эволюция биосферы Л: Гидрометеиздат, 1984.
2. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М. Наука. 1965.
3. Зайцев, В. А. Промышленная экология : учеб. пособие / В. А. Зайцев. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. - 130 с.
4. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. 3-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
5. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. М., "Химия", 1991.
6. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г. Мизити А. Введение в экологическую химию. М.: Высшая школа, 1994. – 400 с.
7. Тарасова Н.П., Кузнецов В.А.Сметанников Ю.В. и др. Задачи и вопросы по химии окружающей среды. – М.: Мир, 2002. – 368 с.
8. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. М.Мир, 1982.
9. Manahan, S. Environmental Chemistry. Tenth Edition. 2017 by CRC Press. Textbook - 752 P.
10. Steffen, W.; Grinevald, J.; Crutzen, P.; McNeill, J. (2011). "The Anthropocene: conceptual and historical perspectives". Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 369 (1938): 842–867. Bibcode:2011RSPTA.369..842S. doi:10.1098/rsta.2010.0327

## V. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. Вступительный экзамен проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из 3х вопросов (2х вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопросу по реферату).

При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил семь баллов и выше.

	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
Минимальный уровень знаний	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

## VI. АВТОРЫ

Профессор, д.х.н. И.В. Перминова