

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



## «ЗЕЛЕНАЯ» ХИМИЯ

**Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальностей:**

1-31 05 01 Химия (по направлениям)  
направление специальности

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

1-31 05 04 Фундаментальная химия

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021, утвержден 25.04. 2022; ОСВО 1-31 05 04-2021, утвержден 27.04.2022; учебных планов № G31-1-231/уч. и № G31-1-237/уч., утвержденных 22.03.2022

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Т.А.Савицкая, профессор кафедры физической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор;

И.М.Кимленко, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Т.Н.Невар, заместитель директора по научной и инновационной работе ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», кандидат химических наук;

Н.Г.Цыганкова, ведущий научный сотрудник учреждения БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», кандидат химических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физической химии химического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 4 от 07.12.2023)

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 6 от 18.12.2023)

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 21.12.2023)

Заведующий кафедрой  А.Е.Усенко

Заведующий кафедрой  Р.Л.Свердлов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Зеленая» химия» разработана в соответствии с учебными планами по специальности 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность) и 1-31 05 04 Фундаментальная химия.

**Цель данной учебной дисциплины** – на основе двенадцати принципов зеленой химии показать возможность организации безопасного производства химических продуктов, ознакомить студентов с уже реализованными «зелеными» технологиями и стратегией действий на пути к устойчивому развитию общества.

### **Задачи данной учебной дисциплины:**

– ознакомить студентов с основными направлениями развития зеленой химии с целью выработки у будущих специалистов грамотного подхода к решению практических задач получения химических продуктов безопасными способами;

– сформировать у студентов представления о принципах безопасного для окружающей среды и человека проведения химических процессов в лабораторных и производственных условиях.

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

Учебная дисциплина «Зеленая» химия» является одной из дисциплин экологического модуля компонента учреждения высшего образования.

### **Формирование компетенций:**

Освоение учебной дисциплины «Зеленая» химия» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции:**

Оценивать эффективность химических процессов и их экологических последствий на основе знаний о структуре и функционировании экосистем и принципов «зеленой химии».

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

### **знать:**

– важнейшие принципы и направления развития «зеленой химии»;

– современные стратегии развития мировой промышленности и программы производителей химической продукции, направленные на сохранение окружающей среды и достижение устойчивого развития общества;

– законодательные документы, регламентирующие охрану окружающей среды в химической промышленности;

– основные подходы и приемы проведения «зеленого» химического синтеза;

– принципы выбора исходных материалов, реагентов, растворителей, условий проведения реакций с точки зрения общей эффективности химического синтеза;

– технологические аспекты внедрения и аппаратное оформление «зеленых» химических процессов;

- достоинства и недостатки традиционных и нетрадиционных методов активации химических реакций;
- экологические преимущества каталитических химических процессов;
- специфику проведения химических реакций без органических растворителей;
- перспективы использования возобновляемых источников энергии и их вклад в общее мировое энергетическое производство;
- подходы к получению продуктов из возобновляемых источников сырья;
- разработки белорусских ученых в области «зеленой химии» и направления ее развития в Республике Беларусь.

**уметь:**

- оперировать ключевыми понятиями «зеленая химия», «устойчивое развитие» и ориентироваться в современных тенденциях развития мировой химической промышленности;
- оценивать эффективность проведения химических реакций и их экологические последствия;
- предложить новые безопасные способы проведения химических процессов и внедрять их в лабораторных и производственных условиях;
- применять современные информационные технологии при решении практических задач по реализации «зеленых» химических процессов;
- готовить информацию и распространять идеи «зеленой химии» среди специалистов и общественности для достижения целей устойчивого развития общества.

**владеть:**

- методологией получения химических веществ с точки зрения их безопасности для окружающей среды и человека;
- принципами «зеленой» химии и технологии для их эффективного использования в технологических процессах и научных исследованиях;
- навыками оценки и прогнозирования уменьшения воздействия химических веществ на окружающую среду и человека для достижения целей устойчивого развития.

В рамках образовательного процесса по данной учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны

**Структура содержания учебной дисциплины**

В соответствии с учебным планом программа по учебной дисциплине «Зеленая химия» рассчитана на 94 часа, из них 36 аудиторных, 22 лекционных часа, 8 часов семинарских занятий, 6 часов – управляемая самостоятельная работа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.  
Форма текущей (промежуточной) аттестации по учебной дисциплине – экзамен (в устной форме).

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Раздел 1. «Зеленая химия» – химия в интересах устойчивого развития**

#### **Тема 1.1. «Зеленая химия» как наука и мировоззрение**

Химия – прошлое, настоящее и будущее. Проблемы экологической этики и химическое производство. Стратегия «конца трубы» и предупредительный подход. Предмет и задачи «зеленой химии». «Зеленая химия»: наука или мировоззрение? Хронология развития «зеленой химии». Двенадцать принципов «зеленой химии» Пола Анастаса и Джона Уорнера. Направления развития «зеленой химии». «Зеленый» химический синтез и основные приемы его проведения: «зеленые» методы активации химических реакций, «зеленые» растворители, катализ, минимизация побочных продуктов в схемах реакций, «зеленый» дизайн химических процессов, использование возобновляемого сырья и энергии. Внедрение «зеленых» технологий в промышленное производство. Образовательные аспекты «зеленой» химии. Преподавание «зеленой» химии в университетах мира. Знания в области «зеленой химии» как фактор повышения социальной ответственности специалиста. Роль университетского образования в достижении устойчивого развития: концепции университета 3.0 и 4.0.

#### **Тема 1.2. Концепция устойчивого развития и роль химии в его осуществлении**

Историогенез понятия «устойчивое развитие». Модель устойчивого развития и его показатели. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь. «Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности. Проблемы современного химического производства: нестабильность процессов, отходы, ограниченность углеводородного сырья и источников энергии. Реализация в химической промышленности концепции «Более чистое производство», обеспечивающей защиту окружающей среды, потребителя и работника при одновременном повышении эффективности, увеличении прибыли и конкурентоспособности. Переход от административных методов к методам «зеленой химии». Программа мировых производителей химической продукции «Ответственная забота» («Responsible Care») и ее вклад в устойчивое развитие. Глобальная Стратегия Управления Продуктом (Global Product Strategy, GPS) как часть программы «Ответственная забота».

#### **Тема 1.3. Законодательство в природоохранной деятельности**

Системы экологического менеджмента: ISO 14001, европейский эко-менеджмент и аудит (EMAS). Законодательные документы, регламентирующие охрану окружающей среды в химической промышленности: требования к химической продукции Chemicals Policy, REACh (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances), Согласованная на Глобальном Уровне Система Классификации и

Маркировки Химической Продукции (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, GHS). Экомаркировка.

## **Раздел 2. Основные направления развития «зеленой химии»**

### **Тема 2.1. Химический синтез и «зеленая химия»**

Меры эффективности химических реакций: выход продукта, селективность (хемоселективность, региоселективность, стереоселективность), атомная эффективность, E-фактор и способы их расчета. Использование атомной эффективности и E-фактора для оценки экологического воздействия химического процесса. Примеры «экономных» реакций с точки зрения принципа экономии атомов: реакции присоединения, перегруппировки. Примеры «неэкономных» реакций: реакции отщепления, замещения, окисления. E-фактор в различных отраслях химической промышленности, особенности фармацевтической отрасли. Многообразие количественных показателей («зеленых» метрик) предложенных для оценки эффективности химических процессов.

Стратегия и тактика органического синтеза, число стадий, общий выход. Синтез линейный и конвергентный, борьба с «арифметическим демоном». Увеличение молекулярной сложности как основная стратегическая линия. Принципы выбора исходных материалов, реагентов, растворителей, условий проведения реакций с точки зрения общей эффективности химического синтеза.

### **Тема 2.2. Нетрадиционные методы активации химических реакций**

Классические методы термического ускорения химических реакций: достоинства и недостатки с точки зрения энергетической эффективности, удобства использования, влияния на окружающую среду. Представление об альтернативных методах активации.

Ультразвуковая активация химических процессов, сонохимия. Диапазон применяемых для активации ультразвуковых волн. Механизмы активации ультразвуком, кавитация, генерирование радикальных частиц под действием ультразвука. Влияние ультразвука на гомогенные и гетерогенные химические реакции. Общее представление о соноэлектрохимии. Ультразвуковые преобразователи, оборудование для проведения химических процессов под действием ультразвука.

Микроволновая активация химических реакций. Представление о микроволнах (СВЧ). Диапазон микроволн, применяемых в химии. Механизм нагрева вещества микроволнами, влияние полярности вещества на скорость нагрева под действием микроволн. Особенности и преимущества микроволнового нагрева в сравнении с классическими методами. «Перегретые» жидкости, реакции в перегретой воде. Лабораторная аппаратура для проведения реакций в условиях микроволнового нагрева, отличия от бытовых микроволновых печей. Проточный микроволновой реактор.

Фотохимическая активация химических реакций, общие представления об ее механизме. Квантовый выход. Экологические преимущества фотохимических процессов. Проблемы внедрения фотохимических реакций в промышленность. Примеры фотохимических синтезов: получение капролактама, витамина D и др.

### **Тема 2.3. Катализ и «зеленая химия»**

Общие представления о катализе и катализаторах. Каталитический цикл. Некоторые типы катализаторов: гомогенные, гетерогенные, катализаторы фазового переноса, биокатализаторы. Основные параметры катализаторов. Модификаторы, промоторы и каталитические яды. Преимущества каталитических химических процессов перед некаталитическими с точки зрения «зеленой химии» (на примере реакций окисления). Регенерация и переработка катализаторов. Сравнение гомогенных и гетерогенных катализаторов. Цеолиты как катализаторы. Примеры применения цеолитов: каталитический крекинг, получение *пара*-ксилола, этилбензола, кумола, получение бензина из метанола, гидратация циклогексена. Катализ наночастицами. Понятия о мицеллярном и микрогетерогенном катализе. Представление о металлокомплексном катализе и органокатализе. Примеры «зеленых» гомогенных каталитических реакций.

Фотокатализ. Фотокаталитическая минерализация органических веществ, материалы с самоочищающейся поверхностью.

Общие представления о биокатализе и биокатализаторах. Ферменты (энзимы) и рибозимы. Молекулярное распознавание. Классификация ферментов. Химические реакции под действием ферментов. Катализ чистыми ферментами и клеточными культурами. Преимущества и недостатки биокатализа, способы решения проблем. Биокатализ в промышленности. Синтез ибупрофена. Метод получения акриламида из акрилонитрила с помощью нитрилгидратазы.

Каталитические реакции окисления. Пероксид водорода как «зеленый» окислитель. Получение и свойства пероксида водорода, механизмы окислительного действия. Применение пероксида водорода для контролируемого генерирования галогенов, а также удаления вредных веществ из сточных вод, почвы, промышленных газовых выбросов.

### **Тема 2.4. «Зеленый» дизайн химических процессов**

Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов. Новое аппаратное оформление технологических процессов. Принципы интенсификации технологических процессов: увеличение массо- и теплопереноса, оптимизация продолжительности реакции. Классические реакторы периодического и проточного действия. Недостатки классических реакторов. Новые виды аппаратов в технологических процессах: реакторы с вращающимся диском, каталитические мембранные реакторы, микрореакторы. Многофункциональные реакторы: противоточные реакторы,



хроматографические реакторы. Реакционная перегонка, экстракция, кристаллизация. Примеры химических процессов в новых видах реакторов. 12 принципов «зеленого» дизайна химических процессов. Дизайн «зеленых» процессов синтеза на примере получения 2-хлорникотиновой кислоты.

### **Тема 2.5. «Зеленые» растворители**

Органические растворители и летучие органические соединения – влияние на окружающую среду и здоровье человека. Диметилкарбонат – «зеленый» растворитель и реагент. Проведение химических процессов без растворителей. Сверхкритическое состояние вещества. Сверхкритические среды как растворители для химических процессов, преимущества перед классическими растворителями. Сверхкритический  $\text{CO}_2$  ( $\text{scCO}_2$ ) как растворитель: преимущества и недостатки. Примеры химических процессов, проводимых в  $\text{scCO}_2$ : радикальная полимеризация фторсодержащих мономеров и др. Гидрирование и окисление в  $\text{scCO}_2$ . Экстракция с помощью  $\text{scCO}_2$ , декофеинизация кофе. Сверхкритическая вода и ее использование. Вода как «зеленый» растворитель: преимущества и недостатки. Особые свойства воды как растворителя, примеры использования: реакции гидратации, гидрирования. Аналоги классических металлоорганических реакций, проводимые в воде.

Ионные жидкости, их строение, свойства, типичные представители. Преимущества ионных жидкостей перед классическими органическими растворителями. Каталитические свойства ионных жидкостей. Регенерация ионных жидкостей. Ионные жидкости из возобновляемых источников сырья. Примеры использования ионных жидкостей в «зеленых» химических процессах. Фторированные бифазные растворители: типичные представители, приемы использования и примеры применения в химических процессах.

Глубокие эвтектические растворители, представители и примеры использования.

### **Тема 2.6. Возобновляемые источники энергии и сырья**

Проблема истощения ископаемых видов топлива. Сжигание органических веществ как метод получения энергии. Удельная теплота сгорания различных видов топлива. Возобновляемые источники энергии и их вклад в общее мировое энергетическое производство.

Биомасса как источник энергии. Непосредственное сжигание сухой биомассы и конверсия биомассы в более удобные для использования твердые, жидкие или газообразные виды топлива. Процессы конверсии биомассы: термолиз, пиролиз, газификация, гидротермолиз, ферментация, переработка в биогаз. Этанол как возобновляемый вид топлива: преимущества и недостатки. Производство и использование этанола, полученного из возобновляемых источников сырья (биоэтанола). Производство и использование биобутанола.

Недостатки дизельного топлива, получаемого из нефти. Дизельное топливо из возобновляемых источников сырья (биодизель) и его

преимущества. Биодизельное топливо из рапсового масла. Состав растительных масел, получение биодизельного топлива переэтерификацией триглицеридов. Смесевое биодизельное топливо.

Химические продукты из возобновляемых источников сырья. Состав биомассы: углеводы, лигнин, жиры, терпены, воска, белки и представление об их химическом строении. Целлюлоза и крахмал как основные перерабатываемые компоненты биомассы. Некоторые химические продукты, получаемые из биомассы: глюкоза, молочная кислота, 1,3-пропандиол, аскорбиновая кислота, левоулиновая кислота. Полимерные материалы из возобновляемых источников сырья, биопластики. Биоразлагаемые полимеры и пластмассы на их основе.

### **Тема 2.7. «Зеленая химия» в Республике Беларусь**

Получение и использование биогаза. Производство биодизеля. Новые разработки белорусских ученых: производство биобутанола, бессероуглеродный процесс получения гидратцеллюлозного волокна и др.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов внеауд. УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Количество часов УСП		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	«Зеленая химия» – химия в интересах устойчивого развития							
1.1	«Зеленая химия» как наука и мировоззрение	2				2		Эссе, эвристический диалог
1.2	Концепция устойчивого развития и роль химии в его осуществлении	2						Экспресс-опрос, обсуждение телепередачи «Зеленая химия»
1.3	Законодательство в природоохранной деятельности	2				2		Составление паспорта безопасности химических веществ
2	Основные направления развития «зеленой химии»							
2.1	Химический синтез и «зеленые» метрики	2		4				Тематическая презентация
2.2	Нетрадиционные методы активации химических реакций	2						Контрольная работа
2.3	Катализ и зеленая химия	2						Экспресс-опрос
2.4.	«Зеленый» дизайн химических процессов	2		2				Диалог вопрос–ответ

								Тематическая презентация
2.5	«Зеленые» растворители	4		2				Контрольная работа
2.6	Возобновляемые источники энергии и сырья	2						Диалог вопрос–ответ
2.7.	«Зеленая химия» в Республике Беларусь	2				2		Аналитический обзор
	Итого	22		8		6		

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература:

1. Введение в "зеленую" химию: Беларусь и страны Вышеградской четверки: опорный конспект лекций для студ. спец. "Химия" (по направлениям) / [авт.: Т.А. Савицкая и др.] ; БГУ, Международный Вышеградский Фонд. - 2-е изд., пересмотр. - Минск : Издательский центр БГУ, 2016. - 151 с.
2. Green Chemistry: Process Technology and Sustainable Development / Tatsiana Savitskaya [et al.]. - [Singapore] Zhejiang University Press : Springer, 2021. - ix, 149 с.
3. Локтева Е.С. Методы реализации процессов «зеленой» химии: учебное пособие / Е.С. Локтева. – М.: Изд-во Триумф, 2021. – 270 с.

### Дополнительная литература:

1. Тырков А.Г. «Зеленая химия». Современные тенденции, возможности и ограничения: учебное пособие / А. Г. Тырков. – Астрахань : Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2020. – 85 с.
2. Савицкая, Т.А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т.А. Савицкая ; БГУ. - Минск : БГУ, 2018. - 207 с.
3. Малышева, Т.В. Методология организации малоотходных химико-технологических систем на принципах "зеленой" химии / Т.В. Малышева, А.И. Шинкевич ; Минобрнауки России, ФГБОУВО "Казанский национальный исследовательский технологический университет". - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический ун-т ; Курск : Университетская книга, 2022. - 218 с.
4. Иванкин, А.Н. Экохимия: учебное пособие [для вузов] / А.Н. Иванкин. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 106 с.
5. Манаган, Стенли Е. Химия окружающей среды = Environmental Chemistry / Стенли Е. Манаган ; пер. с англ. языка 9-го издания под ред. С.В. Мякина. - 9-е изд. - Санкт-Петербург : Профессия, 2018. - 1023 с.
6. Andraos, John. Synthesis Green Metrics: problems, exercises, and solutions / by John Andraos. - Boca Raton ; London ; New York : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2019. - xii, 513 с.
7. Andraos, John. Reaction Green Metrics: Problems, Exercises, and Solutions / by John Andraos. - Boca Raton ; London ; New York : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2019. - xii, 592 с.
8. Biopolymers and Biomaterials / ed. by Aneesa Padinjakkara [et al.]. - Oakville ; Waretown : Apple Academic Press : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2019. - xvi, 370 с.
9. Ким Ын Зу. Зеленый синтез наночастиц Ag и их применение / Ким Ын Зу, Ким Сен Чхор. - Beau Bassin : Lap Lambert Academic Publishing RU, 2019. - 78 с.

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

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Проведение эвристического диалога. Проблемное поле – роль и место «зеленой» химии в системе химического образования.
2. Написание эссе по теме «Зеленая химия» как наука и мировоззрение»
3. Подготовка и защита рефератов по темам «Химический синтез и зеленая химия», «Катализ и зеленая химия»
4. Экспресс-опрос и обсуждение телепередачи «Зеленая химия» по теме «Концепция устойчивого развития и роль химии в его осуществлении»
5. Диалог вопрос–ответ по темам «Зеленый» дизайн химических процессов, «Возобновляемые источники энергии и сырья»
6. Контрольная работа по темам «Нетрадиционные методы активации химических реакций», «Зеленые» растворители»
7. Составление паспорта безопасности химических веществ по теме «Законодательство в природоохранной деятельности»
8. Составление аналитического обзора по теме «Зеленая химия в Республике Беларусь»

При проведении эвристического диалога будет соблюдаться формат "студент-преподаватель", в котором вопрошающая доминанта принадлежит обучающемуся, а не педагогу. Будут созданы условия для горизонтальных коммуникаций студентов. Студентам будет предоставлена возможность самим оценить уровень своих компетенций и наметить самостоятельную образовательную траекторию.

При оценивании эссе, паспорта безопасности и аналитического обзора обращается внимание на содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления.

При оценке в формате экспресс-опроса и диалога вопрос-ответ учитывается вовлеченность студента в беседу, наличие грамотной аргументации, привлечение знаний, полученных в ходе предыдущих лекционных занятий.

При оценивании реферата обращается внимание на содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления.

Форма текущей (промежуточной) аттестации – экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на семинарских занятиях – 20 %;
- участие в эвристическом диалоге и диалоге «вопрос-ответ» – 10 %.
- выполнение заданий (составление паспорта безопасности, аналитического обзора, контрольные работы) – 30 %;
- рефераты – 30 %.
- эссе – 10 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Весовая оценка по текущей успеваемости составляет 50 %, экзаменационная оценка – 50 %.

### Примерная тематика семинарских занятий

1. Концепция устойчивого развития и роль химии в его осуществлении. Зеленые синтезы
2. «Зеленые» метрики как мера эффективности химических реакций и процессов.
3. «Зеленый» дизайн химических процессов. Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов.
4. «Зеленые» растворители и их использование в различных технологических процессах.

### Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

1. **Тема:** Зеленая химия – химия в интересах устойчивого развития, 2 часа  
*Задание 1.* Составить вопросы (формат: что? как? почему?) для диалога о роли и месте «зеленой» химии в системе химического образования  
*Задание 2.* Составить маршрутную карту своей самостоятельной работы в процессе изучения дисциплины «Введение в «зеленую химию»  
Перечень средств диагностики:  
Вопросы и маршрутная карта  
**Тема:** «Зеленая химия как наука и мировоззрение», 2 часа.  
*Задание 1.* Раскрыть содержание понятия «зеленая химия», обсудить разницу между химией окружающей среды и зеленой химией.  
*Задание 2.* Описать отношение общества к химии, пути решения экологических проблем химического производства, основные черты химии будущего.  
Перечень средств диагностики: Эссе.
2. **Тема:** «Законодательство в природоохранной деятельности», 2 часа  
*Задание 1.* Охарактеризовать суть регламента REACH.

*Задание 2.* Охарактеризовать опасность вещества в соответствии с Глобальной системой классификации и маркировки химических веществ.

Перечень средств диагностики:

Составление паспорта безопасности химических веществ.

3. **Тема:** «Зеленая химия в Республике Беларусь», 2 часа

*Задание 1.* Охарактеризовать направления развития «зеленой» химии в РБ.

*Задание 2.* Привести примеры работ по организации экологически чистых производств в РБ

Перечень средств диагностики: Составление аналитического обзора

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

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

При организации образовательного процесса используется *метод проектного обучения*, который предполагает приобретение студентами навыков для решения исследовательских, научных, предпринимательских и коммуникационных задач.

При организации образовательного процесса используется *метод обучения лидером из сверстников*, который предполагает выбор группы студентов в качестве педагогического совета, которые будут участвовать в проведении семинаров, проверке выполнения заданий с обязательным представлением результатов своей деятельности. Метод предполагает приобретение коммуникационных навыков, умения быть ответственным за результаты своей деятельности.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется:

1. Разработка и составления банка групповых или индивидуальных заданий; пояснение основных требований к их выполнению;

2. Использование современных информационных технологий: размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа учебной дисциплины, задания в тестовой форме, темы кратких рефератов, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов и др.).



### Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Основные направления развития «зеленой» химии.
2. Биокатализ, преимущества и недостатки биокаталитических методов.
3. Сверхкритическое состояние вещества.
4. «Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности.
5. Меры эффективности химических реакций.
6. Виды биотоплива. Производство биотоплива в РБ.
7. Системы экологического менеджмента.
8. Основные подходы к дизайну «зеленых» процессов синтеза.
9. Диметилкарбонат – «зеленый» растворитель и реагент.
10. «Зеленая химия»: наука или мировоззрение?
11. Принципы интенсификации технологических процессов.
12. Атомная эффективность и E-фактор.
13. Концепция устойчивого развития.
14. Классические методы ускорения химических реакций. Альтернативные методы активации.
15. «Сверхкритическая» вода как растворитель.
16. Основные принципы «зеленой» химии и их мнемонический вариант.
17. Возобновляемые источники энергии и их вклад в общее мировое энергетическое производство.
18. Линейный и конвергентный синтез.
19. Стратегия REACH.
20. Новое аппаратное оформление технологических процессов.
21. Использование ионных жидкостей в химических процессах.
22. Согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химической продукции.
23. Микроволновая активация химических реакций.
24. Сверхкритический CO<sub>2</sub> как растворитель
25. Общие представления о катализе и катализаторах. «Зеленые» каталитические реакции.
26. E-фактор в различных отраслях химической промышленности, особенности фармацевтической отрасли.
27. Программа «Ответственная забота».
28. Предмет и задачи «зеленой химии».
29. Способы конверсии биомассы.
30. Бифазные растворители и их использование в процессах зеленого синтеза
31. Существующие стратегии решения экологических проблем.
32. Органические растворители. Проведение химических процессов без растворителей. Зеленые растворители.
33. Ультразвуковая активация химических процессов
34. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь.
35. Фотохимическая активация химических реакций
36. Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов.

37. Принципы и цели регламента REACH.
38. Сверхкритические среды как растворители для химических процессов.
39. Микрореакторы и другие типы новых реакторов для «зеленого» синтеза.
40. «Зеленая химия»: наука или мировоззрение?
41. Стратегия и тактика «зеленого» органического синтеза.
42. Меры эффективности химических реакций.
43. Предмет и задачи «зеленой химии».
44. Химические продукты, получаемые из биомассы.
45. Концепция более безопасного по своей природе дизайна химических процессов (Inherently safer design).
46. Трагедия в Бхопале. Сделайте анализ причин с точки зрения «зеленой» химии.
47. Кавитация и ее влияние на химические процессы.
48. «Экономные» и «неэкономные» реакции.
49. Концепция устойчивого развития.
50. Возобновляемые источники энергии и их вклад в общее мировое энергетическое производство.
51. Гетерогенный «зеленый» катализ.
52. «Зеленый» дизайн химических процессов.
53. Глубокие эвтектические растворители.
54. Что такое биоразлагаемые полимеры?
55. Меры эффективности химических реакций.
56. «Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности.
57. Диметилкарбонат – «зеленый» растворитель и реагент.
58. Линейный и конвергентный синтез.
59. Основные направления развития «зеленой» химии.
60. E-фактор в различных отраслях химической промышленности.
61. Ионные жидкости и их использование в химических процессах.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Введение в специальность	Неорганической химии	нет	Согласование не требуется Протокол № 5 от 04.12.2023

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры физической химии химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № \_\_ от \_\_ г. ).

Заведующий кафедрой  
кандидат химических наук,

\_\_\_\_\_ А.Е. Усенко  
(ученая степень, ученое звание) (подпись) (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  
кандидат химических наук,

доцент \_\_\_\_\_ А.В.Зураев  
(ученая степень, ученое звание) (подпись) (И.О.Фамилия)