

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



27 июня 2025 г.

Регистрационный № 3208/б.н.

«ЗЕЛЕНАЯ» ХИМИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальностей:

6-05-0531-01 Химия

Химико-аналитическая и экспертная деятельность

Зеленые химические технологии функциональных материалов и систем

7-07-0531-01 Фундаментальная химия

Современная теоретическая и экспериментальная химия

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-01-2023 и учебных планов № 6-5.5-41/01, № 6-5.5-41/03 от 15.05.2023; ОСВО 7-07-0531-01-2023 и учебного плана № 7-5.5-68/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТ:

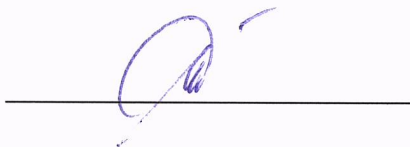
Т.Н.Невар, заместитель директора по научной и инновационной работе ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», кандидат химических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

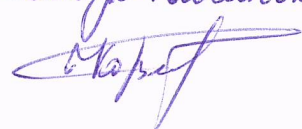
Кафедрой физической химии и электрохимии БГУ
(протокол № 15 от 19.06.2025)

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

Заведующий кафедрой



Е.А.Стрельцов

Т.В. Коваленко-Робинская


ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель 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 учебной дисциплины:

1. 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;

2. 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 относится к модулю «Экологический модуль» компонента учреждения образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей с учебными дисциплинами «Физическая химия», «Современные технологии и окружающая среда».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Зеленая» химия» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированной компетенции

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

В результате освоения 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, в том числе созданные в результате сотрудничества с такими странами Шанхайской организации сотрудничества (ШОС) как Россия, Узбекистан, Казахстан, Пакистан и Китай, и направления развития «зеленой» химии в Республике Беларусь и странах ШОС.

уметь:

- оперировать ключевыми понятиями «зеленая» химия, «устойчивое развитие» и ориентироваться в современных тенденциях развития мировой химической промышленности;
- рассчитывать количественные показатели, характеризующие 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 в Республике Беларусь и странах ШОС.

иметь навыки:

- владения методологией получения химических веществ с точки зрения их безопасности для окружающей среды и человека;
- оценки и прогнозирования уменьшения воздействия химических веществ на окружающую среду и человека для достижения целей устойчивого развития;
- презентации достижений Республики Беларусь в области создания зеленых технологий и экологичных продуктов на их основе в соответствии с принципами «зеленой» химии и национальными социально-экономическими, культурными и экологическими приоритетами.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Зеленая» химия» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов, лекции – 22 часа, семинарские занятия – 14 часов. Из них:

Лекции – 22 часа, семинарские занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 1. РОЛЬ ЗЕЛЕНОЙ ХИМИИ В РАЗВИТИИ ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тема 1.1 «Зеленая» химия как наука и мировоззрение

Историогенез зеленой химии как научного направления. Внедрение идей «зеленой» химии в химическое образование. 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. Роль ИЮПАК и ЮНЕСКО в формировании «зеленой» химии как отрасли химического знания. Соотношение понятий «зеленая» химия и «химия для устойчивого развития». Дорожная карта развития химии на период до 2030 г. Предмет и задачи «зеленой» химии. «Зеленая» химия: наука или мировоззрение? Движущие силы и пути развития «зеленой» химии. Хронология развития «зеленой» химии и ее двенадцати принципов. Двенадцать принципов «зеленой» химии Пола Анастаса и Джона Уорнера в сравнении с двенадцатью принципами Нэйла Уинтертона. 24 Принципа «зеленой» химии и «зеленого» инжиниринга. 12 принципов «зеленой» аналитической химии. Трансдисциплинарность «зеленой» химии. Новые аспекты развития представлений о «зеленой» химии: единая теория экологичности (*Unified Theory of Greenness*).

Тема 1.2 Зеленая цивилизация и устойчивое развитие

Возникновение и развитие стратегии устойчивого развития. Модель устойчивого развития и его показатели. Программа формирования устойчивого общества с социальной, экономической и экологической точек зрения и ее отражение в документах «Повестка дня на XXI век» (*Agenda 21*) и «Повестка дня – 2030» (*Agenda 2030*). Зеленая экономическая инициатива, выдвинутая Программой развития ООН по окружающей среде (UNEP). 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». Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь: этапы ее развития и стратегические задачи. Характеристика стратегий устойчивого развития в странах ШОС: Российской Федерации, Республике Узбекистан, Республике Казахстан, Исламской Республике Пакистан и Китайской Народной Республике.

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 «ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ»

Тема 2.1 Зеленый химический синтез

Меры эффективности химических реакций: выход продукта, селективность (хемоселективность, региоселективность, стереоселективность), атомная эффективность, Е-фактор и способы их расчета. Использование атомной эффективности и Е-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. Е-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 Альтернативные 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. Нанозимы. 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 CO_2 (scCO_2) как растворитель: преимущества и недостатки. Примеры химических процессов, проводимых в scCO_2 : радикальная полимеризация фторсодержащих мономеров и др. Гидрирование и окисление в scCO_2 . Экстракция с помощью 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. 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, леволиновая кислота. Полимерные материалы из возобновляемых источников сырья, биопластики. Биоразлагаемые полимеры и пластмассы на их основе.

Тема 2.7. «Зеленая» химия в Республике Беларусь и странах ШОС

Примеры разработок ученых Республики Беларусь в области «зеленых» технологий: бессероуглеродный процесс получения гидратцеллюлозного волокна; биоразлагаемые упаковочные материалы и др. Разработки ученых стран ШОС (*Республика Узбекистан, Российская Федерация, Китайская народная республика, Исламская Республика Пакистан, Республика Казахстан*) в области создания технологий, отвечающих принципам зеленой химии и национальным социально-экономическим, культурным и экологическим приоритетам.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Роль «зеленой» химии в развитии химического образования, науки и промышленности							
1.1	«Зеленая» химия как наука и мировоззрение	2		2				Эссе
1.2	«Зеленая» цивилизация и устойчивое развитие	2						Экспресс-опрос
1.3	Законодательство в природоохранной деятельности	2						Экспресс-опрос
2	Основные направления развития «зеленой химии»							
2.1	«Зеленый» химический синтез	4					4	Выступление с презентацией
2.2	Альтернативные методы активации химических реакций	2		2				Устный опрос
2.3	Катализ и «зеленая» химия	2						Эвристический диалог
2.4	«Зеленый» дизайн химических процессов	2						Экспресс-опрос
2.5	«Зеленые» растворители	2		2				Эвристический диалог
2.6	Возобновляемые источники энергии и сырья	2						Экспресс-опрос

2.7	«Зеленая» химия в Республике Беларусь и странах ШОС	2		4				Устный опрос
	Итого:	22		10			4	

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.

Дополнительная литература

1. Зелёная химия как инструмент устойчивого развития : учебное пособие / Атласкин А.А., Атласкина М.Е., Воротынцев А.В. [и др.]; сост. Н.П. Тарасова, А.Г. Ишков, С.О. Гоманова. – М.: Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского, 2024. – 292 с.: ил.
2. 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.
3. Савицкая, Т. А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т. А. Савицкая ; БГУ. - Минск : БГУ, 2018. - 207 с.
4. 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.
5. Иванкин, А. Н. Экохимия : учебное пособие [для вузов] / А. Н. Иванкин. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 106 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. Локтева Е.С. Методы реализации процессов «зеленой» химии: учебное пособие / Е.С. Локтева. – М.: Изд-во Триумф, 2021. – 270 с. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45676542_43182504.pdf

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущий контроль уровня знаний, обучающихся может осуществляться с использованием следующих средств диагностики:

1. Эвристические диалоги по отдельным темам;
2. Экспресс- и устные опросы;
3. Эссе;
4. Выступление с презентацией.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Зеленая» 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):

- ответы на семинарских занятиях – 25 %;
- написание эссе – 25 %;
- эвристический диалог – 25 %;
- выступление с презентацией – 25 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) 60 % и экзаменационной отметки 40 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 2.1. Зеленый химический синтез (4 ч)

Задание 1. Изучить количественные характеристики эффективности «зеленых» химических реакций («зеленые» метрики). Подготовить презентацию, в которой представить развернутую характеристику одной из «зеленых» метрик, привести примеры ее использования, взятые из оригинальных статей последних 5 лет издания, выступить с презентацией перед группой. В презентации должны содержаться вопросы и задания для слушателей.

(Форма контроля – выступление с презентацией)

Задание 2. Привести примеры использования фармацевтическими компаниями количественных оценок экологической эффективности используемых технологий: *Reaction Mass Efficiency*, *Green Aspiration Level*, *Live Cycle Assessment*, *Eco-Footprint Metrics*. Подготовить презентацию для выступления перед группой.

(Форма контроля – выступление с презентацией)

Примерная тематика семинарских занятий

1. «Зеленая» химия как наука и мировоззрение
2. Альтернативные методы активации химических реакций
3. «Зеленые» растворители: классификация и примеры использования.
4. «Зеленая» химия в Республике Беларусь и странах ШОС: примеры разработанных «зеленых» технологий.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

Линейный (традиционный) метод (лекция, семинарские занятия);

Активные (интерактивные) методы:

проблемно-ориентированное обучение PBL (Problem-Based Learning). Обучающиеся приобретают знания и навыки при решении реальных, открытых проблем. Учебный процесс строится на основе практических заданий, а не традиционного изложения материала, что способствует более глубокому пониманию и развитию навыков критического мышления;

командно-ориентированное обучение TBL (Team-Based Learning). Обучение, основанное на использовании малых групп, дает возможность сначала изучить учебный материал, а на занятии применить полученные знания, умения и навыки при помощи последовательности действий, включающей индивидуальную работу, командную работу, а также мгновенную обратную связь;

научно-ориентированное обучение RBL (Research-Based Learning). Исследование становится центральным инструментом образовательного процесса. Вместо традиционного усвоения готовых знаний, студенты активно участвуют в исследовательской деятельности, что способствует более глубокому пониманию материала и развитию навыков критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной теме;
- изучение материалов, размещенных на образовательном портале <https://educhem.bsu.by/> (дисциплина «Зеленая» химия));
- изучение цикла материалов, размещенных на сайте химического факультета <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya>
- подготовка к семинарским занятиям.

Внеаудиторные учебные занятия проводятся с использованием электронной образовательной среды образовательного портала <https://educhem.bsu.by/> и сайта химического факультета <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya> .

Электронный образовательный контент по учебной дисциплине размещается на образовательном портале <https://educhem.bsu.by/> и на сайте <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya>.

Доступ к ресурсам учебной дисциплины обучающихся осуществляется с использованием авторизации посредством учетных записей.

Примерный перечень вопросов к экзамену

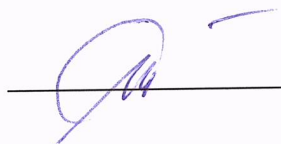
1. Основные направления и движущие силы развития «зеленой» химии.
2. Биокатализ, преимущества и недостатки биокаталитических методов.
3. Сверхкритическое состояние вещества. Примеры использования сверхкритических растворителей.
4. Меры эффективности химических реакций.
5. Виды биотоплива. Производство биотоплива в РБ.
6. Системы экологического менеджмента.
7. Основные подходы к дизайну «зеленых» процессов синтеза.
8. Диметилкарбонат – «зеленый» растворитель и реагент.
9. «Зеленая» химия: наука или мировоззрение?
10. Атомная эффективность и E-фактор.
11. Концепция устойчивого развития. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь
12. Классические методы ускорения химических реакций. Альтернативные методы активации.
13. «Сверхкритическая» вода как растворитель.
14. Основные принципы «зеленой» химии и их мнемонический вариант.
15. Возобновляемые источники энергии и их вклад в общее мировое энергетическое производство.
16. Линейный и конвергентный синтез.
17. Стратегия REACH.
18. Новое аппаратное оформление технологических процессов.
19. Использование ионных жидкостей в химических процессах.
20. Согласованная на глобальном уровне система классификации и маркировки химической продукции.
21. Микроволновая активация химических реакций.
22. Сверхкритический CO₂ как растворитель
23. Общие представления о катализе и катализаторах. «Зеленые» каталитические реакции.
24. E-фактор в различных отраслях химической промышленности, особенности фармацевтической отрасли.
25. Программа «Ответственная забота».
26. Предмет и задачи «зеленой» химии.
27. Способы конверсии биомассы. Биоплатформенные молекулы.
28. Бифазные растворители и их использование в процессах «зеленого» синтеза

29. Существующие стратегии решения экологических проблем. Принципы «зеленой» химии.
30. Органические растворители. Проведение химических процессов без растворителей. Зеленые растворители.
31. Ультразвуковая активация химических процессов.
32. Дорожная карта развития химии на период до 2030 года.
33. Фотохимическая активация химических реакций
34. Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов.
35. Принципы и цели регламента REACH.
36. Микрореакторы и другие типы новых реакторов для «зеленого» синтеза.
37. «Зеленая» химия в РФ и странах ШОС. Примеры «зеленых» технологий.
38. Стратегия и тактика «зеленого» органического синтеза.
39. “Green Star” как метод оценки эффективности химических процессов.
40. Соотношение понятий «зеленая» химия» и «химия для устойчивого развития».
41. Дорожная карта развития химии на период до 2030 г.
42. Концепция более безопасного по своей природе дизайна химических процессов (Inherently safer design).
43. Трагедия в Бхопале. Сделайте анализ причин с точки зрения «зеленой» химии.
44. Микроволновая активация в органическом синтезе.
45. «Экономные» и «неэкономные» реакции.
46. История развития «зеленой» химии и ее двенадцати принципов.
47. Гетерогенный «зеленый» катализ.
48. «Зеленый» дизайн химических процессов.
49. Глубокие эвтектические растворители. Примеры использования
50. Классификация биоразлагаемых полимеров. Примеры их использования.
51. Сравнение гомогенных и гетерогенных катализаторов. Цеолиты как катализаторы. Примеры применения цеолитов
52. Ионные жидкости и их использование в химических процессах.

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)
Физическая химия	Кафедра физической химии и электрохимии	Предложения отсутствуют	Рекомендовать к утверждению учебную программу (протокол № 15 от 19.06.2025)

Заведующий кафедрой
физической химии и электрохимии,
д.х.н., профессор



Е.А.Стрельцов

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
