МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и неорганической химии

УТВЕРЖДАЮ
Декан химического факультета, доц.
_____ А.И. Вильмс
“10” июня 2026 г.

Рабочая программа дисциплины Б1.В.09

Наименование дисциплины **ЗЕЛЁНАЯ ХИМИЯ**

Направление подготовки **04.03.01 - Химия**

Направленность подготовки: Фармацевтическая химия

Квалификация выпускника – **БАКАЛАВР**

Форма обучения ***очная***

Согласовано с УМК химического факультета

Протокол № 4 от «10» июня 2026 г.

Председатель _____
Вильмс А.И.

Рекомендовано кафедрой общей и неорганической химии:

Протокол № 6 от «09» июня 2026 г.

Зав. кафедрой _____
Сафронов А.Ю.

Иркутск 2026 г.

Б1.В.09 Зеленая химия

Лекции-18 КО -8 Самост работа 46, зачет

ПК4, ПК 5.

ПК-4 Способен обрабатывать результаты работ химической направленности с использованием стандартных методов и методик	ИДК$_{ПК-4.1}$. Обрабатывает и представляет результаты лабораторных испытаний в соответствии с действующими технологическими регламентами ИДК $_{ПК-4.2.}$ Составляет протоколы испытаний, отчеты о выполненной работе по заданной форме
ИДК$_{ОПК-5.2}$ Соблюдает нормы информационной безопасности в профессиональной деятельности	
ОПК-2 Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием	ИДК $_{ОПК-2.1}$ Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности ИДК $_{ОПК-2.2}$ Проводит синтез веществ и материалов разной природы с использованием имеющихся методик ИДК$_{ОПК-2.3}$ Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе
ПК -5 - Способен подобрать и контролировать технологические параметры процесса для производства материалов и лекарственных средств с заданными свойствами .	ИДК$_{ПК5-1}$ готовность проводить стандартные и сертификационные испытания материалов, изделий и технологических процессов ИДК$_{ПК-5.2}$ Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании

-Уметь: Выбирать наиболее эффективную технологию производства продуктов основного и тонкого органического синтеза **Знает:** требования к качеству исходных материалов, используемых в технологическом процессе, а также получаемых промежуточных и готовых продуктов; аналитические методики и визуальные тесты, используемые при внутрипроизводственном контроле технологического процесса.	для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства ИДК$_{ПК-5.3}$ Способен оценить погрешности измеряемых характеристик веществ и материалов, источники ошибок при использовании выбранного метода исследования

1. Организационно-методический раздел

Цель

– на основе принципов "зелёной 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

– дать студентам ясное представление о возможностях, роли и месте "зелёной химии" в современном естествознании;

– изложить принципы "зелёной химии" и способы их интерпретации, научить применению этих принципов в повседневной научной (химической) практике для рациональной и безопасной работы с химическими веществами;

– дать основы совместного (комплексного) использования принципов "зелёной химии" в различных масштабах.

– дать представление об особом виде разрушения материалов, конструкций, техники, связанным с воздействием микроорганизмов (биокоррозия) и его связи с проблемами защиты от коррозии и создания биоразлагаемых материалов и их композиций с синтетическими полимерными материалами.

В результате изучения курса студенты должны:

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 при создании и реализации «зеленых» химических технологий;
- принципы выбора сырья, реагентов, растворителей, условий проведения реакций с точки зрения общей эффективности химического синтеза;
- технологические аспекты внедрения и аппаратное оформление «зеленых» химических процессов;
- методы активации химических реакций, их достоинства и недостатки, 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 отечественных ученых в области «зеленой химии» и направления ее развития в Иркутской области.

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;
- анализировать существующие методики эксперимента и технологии получения химических веществ с точки зрения их безопасности для окружающей среды и человека;
- предлагать новые безопасные способы проведения химических процессов и внедрять их в лабораторных и производственных условиях;
- применять современные информационные ресурсы при решении практических задач по реализации «зеленых» технологий;
- критически анализировать информацию и распространять идеи «зеленой химии» среди специалистов и общественности для достижения целей устойчивого развития общества.

Студенты должны ***владеть:***
- методологией безопасного проведения химических процессов в лабораторных условиях и особенностями проведения процесса масштабирования лабораторных технологий
- основами стратегии организации «зеленых» химических производств
- подходами к анализу деятельности предприятий химической промышленности с позиций концепции безопасного производства и устойчивого развития.

Содержание курса

Введение. «Зеленая химия» как наука и мировоззрение. Химия – прошлое, настоящее и будущее. Проблемы экологической этики и химическое производство. 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. Знания в области «зеленой химии» как фактор повышения социальной ответственности специалиста. Роль университетского образования в достижении устойчивого развития. 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». Проблемы современного химического производства: нестабильность процессов, отходы, ограниченность углеводородного сырья и источников энергии.

Раздел 1. 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. Основы токсикологии химических продуктов и экологический риск. Токсичность химических веществ для человека и биосферы, период и пути разложения в природе, токсичность вторичных продуктов. Поверхностно-активные вещества, пестициды и др. токсиканты в окружающей среде. Воздействие ПАВ на окружающую среду и человека. Скорость биоразложения и структура молекул ПАВ. Защита окружающей среды как стимул поиска новых безопасных ПАВ.

Методология оценки риска: идентификация опасности, оценка воздействия, определение дозовой зависимости эффекта, расчет конкретного риска. Оценка риска для веществ общетоксического и канцерогенного действия. Управление промышленным риском с учетом технологических и экономических возможностей его предупреждения.

Международные подходы к оценке токсичности и опасности наночастиц и наноматериалов. Нанотоксикология как новое направление исследований и новая дисциплина. Участие наночастиц в круговороте веществ в окружающей среде. Инновационные лекарственные средства на основе углеродных нанотрубок,

дендримеров, нанопроводников, наночастиц и др. и потенциальные области их использования.

Биокинетика наночастиц в организме. Механизмы токсикологического действия наночастиц. Перспективы развития нанобиотехнологии.

Ядерная энергетика и ее роль в решении глобальных экологических проблем. Необходимость распространения ядерных знаний в обществе и особенности менеджмента ядерных знаний.

Раздел 3. Химический синтез и «зеленая химия». 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. 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.

Раздел 4. 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.

Раздел 5. 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 биокатализаторых. 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.

Раздел 6. «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.

Дизайн «зеленых» процессов синтеза на примере получения 2-хлорникотиновой кислоты.

Раздел 7. «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 металлорганических 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.

Раздел 8. 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, левулиновая кислота. Полимерные материалы из возобновляемых источников сырья, биопластики. Получение и применение полимеров молочной кислоты полилактидов.

8-й семестр, 14 недель, 28 часов. Зачёт

При изучении курса предусмотрена самостоятельная работа, связанная с поиском новой информации в сети Интернет и в библиотеке по проблематике курса (литературные ссылки и темы даются преподавателем).

Примерный перечень вопросов по самостоятельной работе

1) "Зелёная" химия – это…

а) реакция с жидкостью зелёного цвета;

б) разработка химических продуктов и процессов, уменьшающих или исключающих использование и образование вредных веществ;

в) процессы переработки или уничтожения отходов, снижающие степень загрязнения окружающей среды;

г) любая реакция, выполненная Зелёным Змием или его родственниками.

2) Возобновляемый ресурс (исходный материал) для производства органических веществ – это…

а) нефть;

б) биомасса;

в) уголь;

г) природный газ.

3) "Зелёная" химия может быть определена также как

а) химия устойчивого развития;

б) химия, которая более безопасна;

в) химия, которая предотвращает загрязнения на молекулярном уровне;

г) всё из того, что указано выше.

4) "Зелёный" растворитель, который можно использовать в некоторых органических реакциях – это…

а) бензол;

б) диметилформамид;

в) вода;

г) диэтиловый эфир.

Ориентировочный перечень вопросов к зачету:

1. Что такое "зелёная" химия?

2. Как мы узнаём о том, что вещество является опасным или безопасным?

3. Являются ли вещества, которые мы называем "безопасными", безопасными на самом деле или только при определённых обстоятельствах?

4. Как вы понимаете слово "риск" и чем риск отличается от опасности?

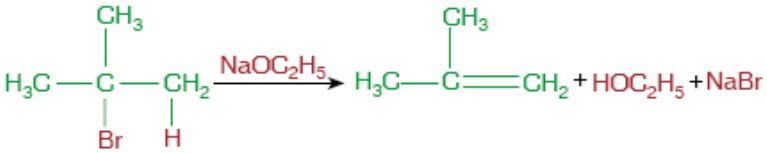
5. Что означает устойчивое развитие цивилизации?

6. Как "зелёная" химия может помочь в достижении состояния устойчивого развития?

7. Достаточно ли у нас умений и знаний, чтобы проводить химические эксперименты в условиях, благоприятных для окружающей среды и здоровья человека?

8. При производстве и использовании биодизеля не увеличивается общее содержание CO_2 в атмосфере. Означает ли это, что при сжигании биодизеля не выделяется углекислый газ?

9. Оцените атомную эффективность реакции элиминирования *трет*-бутилбромида под действием этилата натрия (полезные атомы отмечены зелёным, побочные – коричневым цветом).



В ходе оценки примите, что отщепление HBr протекает полностью.

10. Кроме процентного выхода и атомной эффективности, существуют другие критерии для оценки степени "зелёности" реакции или синтеза. Рассмотрите следующие начальные условия:

а) реакция протекает в дихлорметане, воде или без растворителя;

б) реакция использует стехиометрические количества реагента или каталитические количества того же вещества;

в) реакция протекает при температуре 200 °C или при комнатной температуре;

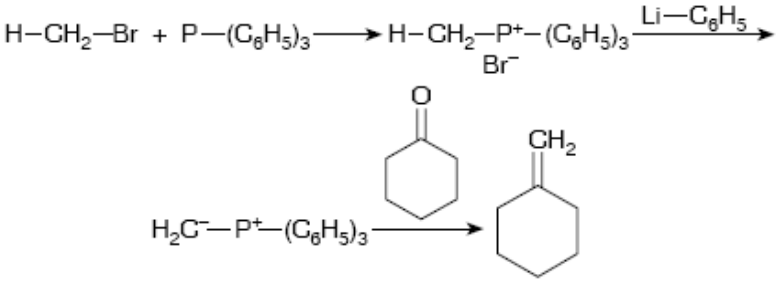
г) по окончании реакции продукт требует хроматографической очистки, перекристаллизации или не требует очистки совсем;

д) исходное вещество для синтеза получается путём переработки нефти или из биомассы.

11. Почему неполярные соединения имеют б**о**льшую тенденцию к биоконцентрированию, чем полярные?

12. С точки зрения атомной эффективности, одни реакции больше удовлетворяют принципам "зелёной" химии, чем другие. Сравните реакции присоединения и отщепления.

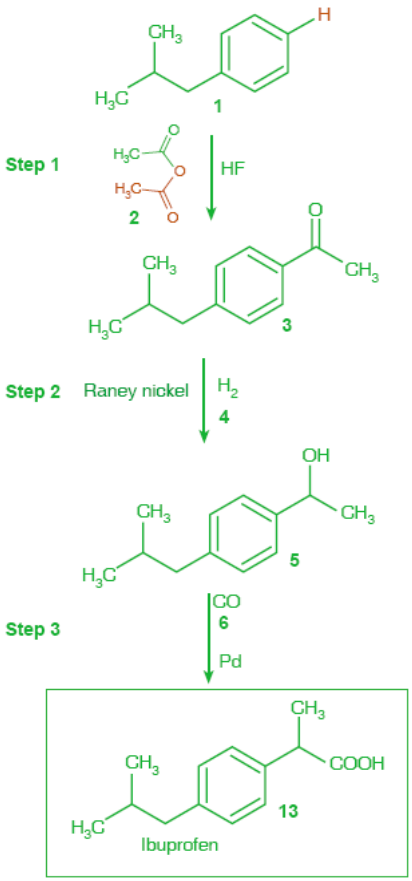
13. Ниже приведён синтез метиленциклогексана по реакции Виттига. Проанализируйте отдельные стадии этого процесса с точки зрения атомной эффективности.



14. Рассмотрите последнюю реакцию, которую вы провели в лаборатории. Отметьте, какие отходы при этом получаются, какие растворители и вспомогательные реагенты требуются; нужны ли осушители и хроматографические материалы?

15. Каковы основные характеристики реакций, имеющих высокую атомную эффективность?

16. Какие из 12 принципов "зелёной" химии реализованы в следующем синтезе лекарственного препарата?



17. Можно ли катализатор после проведения реакции регенерировать? Является ли это выгодным?

18. Сравните достоинства и недостатки одного из использующихся в настоящее время источников энергии (каменный уголь, ядерный реактор, гидроэлектроэнергия, ветрогенератор).

19. Проведение химической реакции в воде лучше, чем её проведение в органическом растворителе, так как при этом будет использоваться меньше органического растворителя. Подумайте, не возникает ли в таком случае новых проблем, связанных с водой и окружающей средой?

20. Какие из характеристик, на ваш взгляд, будут лучше подходить "зелёной" химической промышленности будущего:

а) малотоннажная и гибкая – производит только то, что требуется и только тогда, когда требуется;

б) безотходная – любые неиспользуемые вещества перерабатывает и производит только биоразлагаемые отходы;

в) рациональная – использует только локальные ресурсы, включая энергию, биомассу, местные минеральные вещества как катализаторы и т.п.;

г) дружественная по отношению к человеку и окружающей среде – производит безопасные продукты длительного использования, которые по истечении срока использования либо возвращаются поставщику, либо легко биоразлагаются.

Список литературы

Основная

1. Anastas P.T, Warner J.C. – *Green chemistry: theory and practice*, Oxford University Press, NY, **1998**, 144 p.

2. Зеленая химия в России: сборник статей / под ред. В.Лунина, П.Тундо, Е.Локтевой, Изд-во Моск. ун-та, – 2004. – 231 с.

3. Горизонты химии 21 столетия, под. ред. В.А. Озерянского (учебник), Ростов-на-Дону, Издательство ЮФУ, **2009**, 656 с.

4. M. Lancaster. Green Chemistry: An Introductory Text. – New York: Royal Society of Chemistry – 2002. – 300 p.

Дополнительная

1. Л. Викторова. «Зеленая» химия побеждает // Химия и жизнь. – 2001. - №12.

2. М.Комаров. Кювета со сверхкритическим флюидом // Химия и жизнь. - 2000. – №2. – с.8 – 11.

3. Мартин Полякофф. Зеленая химия: очередная промышленная революция? // Химия и жизнь - XXI век. – 2000, № 2.

4. Дебабов В. Химия без нефти // Химия и жизнь – XXI век. – 2005. – № 4. – С. 8–11.

5. Дебабов В. «Зеленая химия» и возобновляемое растительное сырье // Изобретатель. – 2006. – № 6. – С. 26.

6. «Зеленая» химия – наука 21 века» / Т.А.Савицкая, М.А. Лукашевич, И.М. Кимленко //Репетитор. –2009. – №4. – С. 20 – 23.

7. Системы экологического менеджмента для практиков/ под ред. С.Ю. Даймана. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 248 с.

8. J.Clark, D.Masquarrie. Handbook of Green Chemistry. – Blackwell. – 2002. – 532 p.

9. P. Tundo, V. Esposito. Green Chemical Reactions. – Springer. – 2003. – 213 p.

10. G. Rothenberg. Catalysis: Concepts and Green Applications. – Wiley Verlag. – 2008. – 275 p.

11. D. Adams, P. Dyson, S. Tavener. Chemistry in Alternative Reaction Media. – Wiley. – 2008. – 251 p.

12. P. Tundo, A. Perosa, F. Zecchini. Methods and Reactions for Green Chemisry: an Introduction. – Wiley. – 2007. – 314 p.

13. Green Reactions Media in Organic Synthesis: Ed. by K. Mikami. – Blackwell. – 2005. – 187 p.

14. J. Hagen. Industrial Catalysis: a Practical Approach. – Wiley. 2006. – 507 p.

Ionic Liquids in Synsthesis: Ed. by P. Wasserscheid and T. Welton. – Wiley. – 2008. – 721 p.

15. W. Nelson. Green Solvents for Chemisry: Perspectives and Practice. – Oxford University. – 2003. – 390 p.

16. Trost B.M. – *The atom economy – a search for the synthetic efficiency* – Science, **1991**, *254*, 1471–1477.

17. Cann M.C., Connelly M.E. – *Real world cases in green chemistry*, ACS, Washington, DC, **2000**.

18. Ryan M.A., Tinnesand M., Eds. – *Introduction to green chemistry: instructional activities for introductory chemistry*, ACS, Washington, DC, **2002**.

19. Nüchter M., Ondruschka B., Bonrath W., Gum A. – *Microwave assisted synthesis – a critical technology overview* – Green Chemistry, **2004**, *6*, N 3, 128–141.

20. Кустов Л.М., Белецкая И.П. – *"Green Chemistry" – новое мышление* – Российский химический журнал, **2004**, *48*, N 6, 3–12.

21. Van Gerpen J. – *Biodiesel processing and production* – Fuel Processing & Technology, **2005**, *86*, 1097–1107.

22. Hyatt J.A. – *Liquid and supercritical carbon dioxide as organic solvents* – J. Org. Chem., **1986**, *49*, N 26, 5097–5101.

23. Roger Sheldon of Delft University has developed a very similar concept called % atom utilization. Sheldon R.A. – *Organic synthesis – past, present and future* – Chem. Ind. (London), **1992**, (Dec), 903–906.

24. Guan Z., DeSimone J.M. – *Fluorocarbon-based heterophase polymeric materials* – Macromolecules, **1994**, *27*, N 20, 5527–5532.

25. Collins T.J. – *TAML Oxidant Activators: A New Approach to the Activation of Hydrogen Peroxide for Environmentally Significant Problems* – Acc. Chem. Res., **2002**, *35*, N 9, 782–790.

Интернет-ресурсы

1. Сайт Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия». – http://www.greenchemistry.ru/

2. Одна из первых виртуальных некоммерческих организаций в сети Интернет – Институт "Зеленой" Химии (Green Chemistry Institute), сотрудничающий в реальном мире с Американским химическим обществом (American Chemical Society) http://www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acsdisplay.html?DOC=education%5Cgreenchem%5Cindex.html

3. Электронные версии первичных научных периодических журналов (издательств Elsevier, Wiley, Royal Society of Chemistry, American Chemical Society)

4. Электронные базы Scopus, SciFinder и т.п. Все подобные издательства и базы отвечают на запросы, связанные с "зелёной" химией.

5. Кафедры и факультеты вузов, образовательные программы которых предусматривают преподавание "зеленой" химии или проведение исследований в данной области, не сложно обнаружить в сети Интернет (см., например, gh.muctr.ru/map.html, www.greenchemistry.uml.edu, www.chem.monash.edu.au/green-chem, www.le.ac.uk/chemistry/greenchem, www.miljo.chalmers.se).

Разработчики:
доценты кафедры общей и неорганической химии:

_____ Кашевский Алексей Валерьевич

_____ Баженов Борис Николаевич

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций ПООП по направлению и профилю подготовки 04.03.01 – «Химия».

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и неорганической химии «09» июня 2026 г., протокол № 6.

Зав. кафедрой _____ /А. Ю. Сафронов/

Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.